

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**

**E.A.P. DE INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS**

**Diseño hidráulico de sistemas contra incendio mediante  
simulación numérica**

**TESIS**

**para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos**

**AUTOR**

**María del Rosario Aguirre Vargas**

**Luis Angel Grimaldo Valencia**

**ASESOR**

**Bernandino Salvador Rojas**

**Lima – Perú**

**2004**

## **DEDICATORIA**

A todas las personas que estudian, enseñan o admiran la prodigiosa ciencia de los fluidos.

A nuestros padres, hermanos y a todos aquellos que nos brindaron su apoyo incondicional.

### **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento al Ingeniero Bernardino Salvador Rojas, asesor de la presente tesis, por su apoyo para la elaboración y culminación de la misma.

Asimismo, agradecemos a los profesores de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos por sus invalorable enseñanzas, y por último al Centro de Estudiantes de Ingeniería Mecánica de Fluidos por su apoyo en los momentos difíciles.

## INDICE

	Pág.
<b><u>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</u></b>	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivos Generales	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.2 Definición del problema	2
1.3 Antecedentes históricos	3
1.4 Importancia	4
1.5 Limitaciones	4
 <b><u>CAPÍTULO II : PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS</u></b>	6
2.1 Hidráulica de protección contra incendios	6
2.1.1 Presión	6
a. Presión Normal	6
b. Presión de Velocidad	6
c. Altura Total	7
2.1.2 Teorema de Bernoulli	8
2.1.3 Pérdida de carga en una tubería	8
a. Flujo Laminar	8
b. Flujo Turbulento	9
2.1.4 Pérdidas menores en sistemas de tuberías	12
2.1.5 Descarga de agua a través de orificios	19
a) Orificio normalizado	20
b) Otros orificios	21
 <b><u>CAPITULO III: DISEÑO DE SISTEMAS CONTRA INCENDIO</u></b>	22
3.1 Abastecimiento de agua para sistemas contra incendio	22
3.1.1. Definiciones	22
3.1.2. Fuentes de alimentación de agua	23
3.1.2.1. Condiciones del Agua	23
3.1.2.2. Tipos y Aplicaciones de las Fuentes de Alimentación	23
a) Redes Públicas de Distribución	23
b) Fuentes Inagotables	24
c) Depósitos	24
3.1.3. Sistemas de impulsión	24
3.1.4. Características generales de los abastecimientos de agua	25
3.1.5. Depósitos de agua de gravedad y de aspiración	26
3.1.5.1. Emplazamiento	26
3.1.5.2. Cálculo antisísmico	27
3.1.5.3. Capacidad de los depósitos	27
3.1.5.4. Construcción de los depósitos	27

3.1.6.	Depósitos de tela cauchatada apoyados en terraplenes	28
3.1.7.	Depósitos a presión	28
3.1.8.	Instalaciones de aspiración, naturales y artificiales	29
3.1.8.1.	Cisternas y Depósitos Enterrados	29
3.1.8.2.	Ríos y Lagunas	30
3.1.8.3.	Arroyos y Torrentes	30
3.1.8.4.	Puertos y Ríos	30
3.1.8.5.	Pozos	31
<b>3.2</b>	<b>Bombas empleadas en sistemas contra incendio.</b>	<b>32</b>
3.2.1.	Generalidades	32
3.2.2.	Principios de funcionamiento	33
3.2.3.	Bombas de varias etapas	34
3.2.4.	Bombas de alta presión	35
3.2.5.	Curvas características	35
3.2.6.	Altura de elevación total	36
3.2.7.	Velocidad específica (Ns)	38
3.2.8.	Carga de aspiración positiva neta	39
3.2.9.	Cavitación	40
3.2.10.	Leyes de afinidad o semejanza	41
3.2.11.	Aprobación y certificación de las bombas de incendios	42
3.2.12.	Curvas normalizadas de presión-caudal	42
3.2.12.1.	Caudal cero	43
3.2.12.2.	Valor nominal	43
3.2.12.3.	Sobrecarga	43
3.2.13.	Bombas de Incendios centrifugas de eje horizontal	43
3.2.14.	Instalaciones de aspiración	44
3.2.15.	Bombas de refuerzo	44
3.2.16.	Complementos y accesorios de las bombas	44
3.2.16.1.	Válvulas de seguridad	44
3.2.16.2.	Válvulas de manguera	45
3.2.16.3.	Válvulas automáticas de escape de aire	45
3.2.16.4.	Válvulas de seguridad de circulación	45
3.2.17.	Capacidad y presión nominal de las bombas de incendios	45
3.2.18.	Potencia de las bombas de incendios	45
3.2.19.	Fuerza motriz para bombas de incendios	46
3.2.20.	Pruebas de recepción sobre el terreno	47
3.2.21.	Emplazamiento y alojamiento de las bombas centrifugas	47
<b>3.3</b>	<b>Rociadores automáticos.</b>	<b>48</b>
3.3.1	Instalaciones normales de rociadores automáticos	48
3.3.2	Riesgos intrínsecos de las actividades	48
3.3.2.1.	Clasificación de las actividades	49
a)	Riesgos Ligeros	49
b)	Riesgos Ordinarios	49
c)	Riesgo Extra	49
3.3.2.2.	Condiciones planteadas por actividades especiales	50
3.3.3	Materiales combustibles en pilas de gran altura	50
3.3.4	Situación y distancia entre rociadores	52
3.3.4.1.	Limitaciones en cuanto a superficie y distancias	52
3.3.4.2.	Obstrucciones en la distribución	53
3.3.4.3.	Distancias entre los rociadores y el techo	53

3.3.5.	Tuberías para rociadores	54
3.3.5.1.	Disposición de las tuberías de alimentación	54
3.3.5.2.	Líneas ascendentes	55
3.3.5.3.	Conexiones para el abastecimiento de agua	56
3.3.5.4.	Accesorios de las tuberías	56
3.3.5.5.	Colgantes y soportes para las tuberías	57
3.3.5.6.	Condiciones de corrosividad	57
3.3.5.7.	Equipo de pruebas	58
	a) Tubos para la prueba del abastecimiento de agua y manómetros	58
	b) Tubo de prueba del sistema	58
3.3.5.8.	Otras conexiones	59
3.3.6.	Tipos de sistemas de rociadores automáticos	60
3.3.6.1.	Sistemas de rociadores de tubería mojada o húmeda	60
3.3.7.	Rociadores Automáticos	62
3.3.7.1.	Principio de funcionamiento de los rociadores automáticos	62
	a) Elementos funcionales	62
	b) Dinámica de los rociadores	64
	c) Diseño del deflector	64
3.3.7.2.	Clasificación de temperatura de los rociadores automáticos	65
3.3.7.3.	Rociadores automáticos normales (standard)	67
3.3.7.4.	Rociadores automáticos aprobados	69
3.3.7.5.	Rociadores para usos en distribuciones especiales	71
3.3.8.	Abastecimiento de Agua	74
3.3.8.1.	Riesgos de la Actividad	75
3.3.8.2.	Presión Inicial del Agua	75
3.3.8.3.	Obstáculos a la Distribución de Agua desde los Rociadores	75
3.3.8.4.	Techos Altos y Corrientes de Aire	75
3.3.8.5.	Aberturas Verticales sin Protección	76
3.3.9.	Tamaño de las superficies no compartimentadas	76
3.3.10.	Obstáculos y espacios ocultos en el suelo y en el techo	76
3.3.11.	Extensión de la zona protegida y exposición a fuegos externos	76

#### **Capítulo IV: DESCRIPCION DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS A DISEÑAR 77**

<b>4.1 Descripción arquitectónica y de las características del sistema contra incendio actual de Industrias Nettalco.</b>	<b>78</b>
4.1.1. Componentes del S.C.I. de Industrias Nettalco	79
4.1.1.1 Cisterna de agua	79
4.1.1.2 Sistema de bombeo	79
a) Equipo de bombeo	79
b) Grupo de bombeo auxiliar - Bomba Jockey	80
c) Accesorios	80
4.1.1.3 Tendido de Red	81
4.1.1.4 Gabinetes	81
<b>4.2 Evaluación de riesgos y necesidades de mejora en el sistema contra incendios de Industrias Nettalco.</b>	<b>81</b>

4.2.1.	Riesgos de incendio en una textil	81
4.2.2.	Selección del sector a implementar con sistema de rociadores automáticos.	83
4.2.3.	Análisis de riesgos	84
<b>4.3</b>	<b>Propuestas para el mejoramiento del sistema contra incendio de Industrias Nettalco.</b>	<b>85</b>
4.3.1.	Demanda de caudal y tiempo de autonomía	85
4.3.2.	Implementación de rociadores	86
4.3.2.1	Descripción	86
4.3.2.2	Datos técnicos Criterios de diseño hidráulicos	86
4.3.2.3	Distribución	87
	a) Área de operación hidráulicamente más favorable	87
	b) Área de operación hidráulicamente más desfavorable	88
<b>CAPITULO V:</b>	<b>FORMULACION DE LAS ECUACIONES GOBERNANTES</b>	<b>89</b>
<b>5.1</b>	<b>Criterios empleados en la formulación de ecuaciones gobernantes.</b>	<b>89</b>
5.1.1.	Principios fundamentales del análisis de redes	89
5.1.1.1	Ecuaciones de cabeza	90
5.1.1.2	Ecuaciones de caudal	91
5.1.2.	Método de la teoría lineal	92
5.1.3.	Inclusión de bombas en el análisis de redes	94
<b>5.2</b>	<b>Selección de factores necesarios para la elaboración de una simulación numérica.</b>	<b>95</b>
5.2.1.	Áreas de operación	95
5.2.2.	Curva normalizada de presión-caudal	95
5.2.3.	Parámetros hidráulicos de la red de tuberías	95
5.2.4.	Parámetros hidráulicos de los rociadores	96
5.2.5.	Características del agua	96
<b>5.3</b>	<b>Planteamiento numérico de un modelo matemático que simule un sistema contra incendio en operación.</b>	<b>96</b>
5.3.1.	Área de operación hidráulicamente favorable	96
5.3.2.	Área de operación hidráulicamente desfavorable	101
<b>CAPITULO VI:</b>	<b>SOLUCIÓN NUMÉRICA DE LAS ECUACIONES GOBERNANTES</b>	<b>104</b>
<b>6.1</b>	<b>Método Numérico</b>	<b>104</b>
<b>6.2</b>	<b>Pruebas teóricas.</b>	<b>106</b>
6.2.1.	Prueba Teórica 1: Red Cerrada	106
6.2.2.	Prueba Teórica 2: Red Abierta	113
<b>CAPITULO VII:</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>118</b>

## VII

<b>7.1 Resultados</b>	118
Resultados 1- Rociadores de ½"	120
Resultados 2- Rociadores de 3/8"	133
<b>7.2 Análisis y discusión</b>	146

## **CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

147

<b>8.1 Conclusiones</b>	177
<b>8.2 Recomendaciones</b>	148

## **BIBLIOGRAFÍA**

150



**LISTA DE TABLAS**

<b>TABLA N°</b>	<b>PAG.</b>
2.1 Rugosidad promedio para materiales utilizados en tuberías	16
2.2 Factores K para accesorios	17
2.3 Factores K para codos bridados de 90°	17
2.4 Coeficientes para pérdidas en codos y accesorios	17
2.5 Coeficientes de pérdidas menores para contracciones brascas	18
2.6 Tamaños nominales para tuberías estándares	18
2.7 Coeficientes de descarga típicos de lanzas de chorro compacto	21
4.1 Sistema Clase II	78
4.2 Criterios de diseño para sistemas de rociadores	85
5.1 Accesorios en la red de tuberías del SCI actual.	96
5.2 Accesorios en la red de tuberías del SCI a proyectar	96
7.1 Tabla comparativa	146

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA N°	PAG.
2.1 Flujo inclinado	8
2.2 Datos de Nikuradse	10
2.3 Factores de fricción para flujo en tuberías	11
2.4 Expansión repentina	13
2.5 Volumen de control alrededor de la región de flujo suave	13
2.6 Factor de pérdida de altura para una contracción gradual.	15
2.7 Factor de pérdida de altura para una expansión gradual.	15
2.8 Orificios de diversas formas.	20
2.9 Flujo a través de un orificio normalizado.	20
2.10 Entrada a tuberías	21
3.1 Bomba de incendios centrífuga de una sola etapa	32
3.2 Bomba centrífuga horizontal de etapa múltiple.	33
3.3 Bomba centrífuga horizontal de etapa múltiple	34
3.4 Tres clases principales de bombas de incendios.	34
3.5 Curvas características típicas de bombas de incendios.	35
3.6 Efectos de la forma del rodete sobre las curvas de presión-caudal.	36
3.7 Altura de elevación típica de una bomba de incendios	37
3.8 Altura de elevación total de las bombas de incendios verticales	38
3.9 Curva de presión de aspiración positiva neta (NPSH) de una bomba	40
3.10 Curvas normalizadas de presión-caudal para bombas de incendios	43
3.11 Una válvula de pie típica, bien diseñada, en posición abierta.	44
3.12 Comparación de los valores de emisión de calor en fuegos de ensayo.	51
3.13 Distancia entre el techo y los rociadores sobre el tiempo de actuación.	53
3.14 Sección de un edificio con un sistema de tuberías para rociadores.	54
3.15 Situación de las líneas ascendentes	55
3.16 Tipos comunes de colgantes y soportes	57
3.17 Conexiones para prueba y drenaje de un sistema de rociadores	58
3.18 Tubos de prueba del sistema de rociadores de tubería húmeda	59
3.19 Válvula de alarma automática.	61
3.20 Rociador automático de enlace fusible.	63
3.21 Rociador automático Grinnell "Quartzoid", serie D	63
3.22 Piezas de un rociador un automático de enlace fusible.	64
3.23 Caudal de descarga de agua de un rociador automático standard.	65
4.1 Procedimiento para determinar los criterios de diseño	85
5.1 Red cerrada.	89
6.1 Ejemplo de prueba N°1	106
6.2 Ejemplo de prueba N°2	114

## **RESUMEN**

Esta Tesis está dividida en ocho capítulos:

El capítulo I contiene los objetivos de la Tesis, así como su importancia y limitaciones.

El capítulo II es una compilación de los factores que intervienen en los cálculos de diseño de redes de tuberías, además de los principios del flujo en tuberías y tablas que nos ayudarán más adelante en los procesos numéricos.

El capítulo III es importante para comprender la esencia de la tesis, en ella se describen las consideraciones y parámetros técnicos del sistema que se pretende diseñar, comenzando con el abastecimiento de agua empleado por los sistemas contra incendio, para luego continuar con el estudio de bombas y finalmente se refiere propiamente a los rociadores en sí, cuyo sistema se va a diseñar.

En el capítulo IV se describen los elementos con que se cuenta para el diseño de un sistema de rociadores, para la empresa textil Industrias Nettelco. Para ello se hace un recuento de los equipos y accesorios del sistema contra incendio actual, bombas, cisternas, etc., los aspectos arquitectónicos y el análisis de riesgo que es un factor muy importante a tomar en cuenta para el diseño.

En los capítulos V y VI se pretende hacer un análisis de los métodos de cálculo empleados para la simulación de un sistema contra incendio, se describen los elementos que componen la totalidad del cálculo y las interconexiones que explican su integración.

En los capítulos VII y VIII se presentan los resultados de los cálculos que se han realizado, sus conclusiones y recomendaciones, respectivamente.

## **ANEXOS**

### **ANEXOS 1**

PLANO 01	Planta General
PLANO 02	Isométrico de la Red Contra Incendios
PLANO 03	Sistemas de Rociadores
PLANO 04	Área de Operación Favorable
PLANO 05	Área de Operación Desfavorable

### **ANEXOS 2**

DIAGRAMA DE FLUJO – PROGRAMA Sistema\_contra\_Incendio  
DIAGRAMA DE FLUJO – RUTINA SOLUCION\_ECUACIONES  
ALGORITMO

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Una de las finalidades del progreso científico y tecnológico es la búsqueda constante de innovadores medios que hagan más segura la existencia humana y la protección de sus bienes, y que además vayan acorde con el crecimiento industrial y urbano. Los rociadores automáticos constituyen el medio más confiable y eficaz de protección contra incendios.

En la mayoría de los incendios, el agua constituye el agente extinguidor ideal. Los rociadores utilizan agua mediante aplicación directa sobre las llamas y el calor, lo que enfría el proceso de combustión e impide la ignición de combustibles adyacentes. Su principal eficacia se demuestra durante la etapa inicial de desarrollo de las llamas en un incendio, mientras el fuego es relativamente fácil de controlar. Si un rociador se elige correctamente, debe detectar el calor del fuego, iniciar la alarma y comenzar la supresión sólo momentos después de que aparezcan las llamas. En la mayor parte de los casos los rociadores controlan el avance del fuego a los pocos minutos de activarse, lo que a su vez produce mucho menos daño que el que se verificaría sin ellos.

Esta tesis pretende hacer un estudio de los sistemas de rociadores automáticos, desde el cálculo hidráulico y dimensionamiento de redes hasta los aspectos técnicos de dicho sistema. Se ha escogido como ejemplo la realización de un proyecto para el mejoramiento del sistema contra incendio de la industria textil Nettelco, en el que se analizarán la necesidad de implementar sistemas de rociadores automáticos, asimismo el estudio de los cálculos hidráulicos y normas técnicas entre otros aspectos.

Finalmente, se busca contribuir con la difusión de un tema tan poco conocido en nuestro país, y además estimular el deseo de investigación en los estudiantes de Ingeniería Mecánica de Fluidos, ya que ésta es la base de todo avance científico y tecnológico.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivos Generales**

Desarrollar una solución numérica para el flujo de redes en tuberías basadas en las ecuaciones de continuidad y de energía que sirva como herramienta para realizar el diseño hidráulico y evaluación de sistemas contra incendios.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar un algoritmo para la solución numérica de las ecuaciones de continuidad y de energía aplicado a flujo de agua en redes de tubería.
- Realizar el diseño hidráulico y evaluación de un Sistema Contra Incendios (S.C.I.) para la elaboración de un anteproyecto de implementación y mejora mediante sistemas de rociadores del sistema contra incendios de la Empresa Textil Industrias Nettelco.

## **1.2 Definición del problema**

El fuego es uno de los fenómenos de la naturaleza de permanente interés, motivo de intensas investigaciones para su aprovechamiento y adecuada utilización como agente energético. Cuando el fuego es el producto de un incendio, además de no brindar utilidad, se transforma en un agente particularmente devastador que puede implicar la pérdida de vidas, equipos, propiedades y de tiempo de operación que se traducen en cuantiosas pérdidas de dinero.

En el Perú, debido a sus escasos recursos y su incipiente tecnología, los incendios se han constituido en una de las amenazas más serias a las personas, la industria, los edificios y la propiedad cultural entre otros bienes.

Por experiencia sabemos que un incendio descontrolado puede arrasar el contenido completo de un recinto en escasos minutos y quemar totalmente un edificio en un par de horas. El primer paso para detener un incendio consiste en identificar correctamente el incidente, activar la alarma para los ocupantes y luego notificar a los bomberos. A menudo esta función corresponde al sistema de detección y alarma de incendio. En el comercio se encuentran diversos tipos y opciones de sistemas, según las características específicas del recinto resguardado. Los expertos en protección contra incendios por lo general concuerdan en que los rociadores automáticos representan uno de los aspectos individuales más significativos de un programa de manejo del fuego. Si estos sistemas se diseñan, instalan y mantienen adecuadamente, pueden superar las deficiencias del manejo de riesgos, la construcción del edificio y la respuesta de los bomberos. También pueden otorgar mayor flexibilidad al diseño del edificio y aumentar el nivel global de seguridad con respecto al fuego.

Las razones por las que no se implementa esta nueva tecnología son muchas. La crisis económica, negligencia o falta de conocimientos hasta ahora siempre han estado detrás de la desgracia de un incendio. El desconocimiento de normas relativos a sistemas contra incendio (llámese National Fire Protection Association N.F.P.A., Normas UNE, etc.), el desinterés de asimilar las nuevas tecnologías y al cálculo hidráulico y dimensionamiento de redes son algunos de los problemas que se dan con mayor frecuencia en el diseño y construcción de sistemas contra incendios por medio de agua.

Para lo último, lo aconsejable sería efectuar simulaciones en computadora de estos sistemas, tales que cumplan las normas existentes así como los principios de transporte de fluido en tuberías para distintos tipos de situaciones (grandes plantas industriales, edificios urbanos).

En cuanto al análisis numérico de este problema cabe subrayar la cantidad y variedad de métodos empleados para tal fin buscando siempre optimizar la relación "Exactitud/tiempo" no obstante no siempre es aconsejable la utilización de métodos tan simplificados como imprecisos.

### 1.3 Antecedentes históricos

Los rociadores automáticos son dispositivos para distribuir automáticamente agua sobre un fuego, en cantidad suficiente para dominarlos. El agua llega a los rociadores a través de un sistema de tuberías, generalmente suspendidas del techo; los rociadores están situados a determinada distancia a lo largo de ellas. El orificio de los rociadores automáticos está normalmente cerrado por un disco o caperuza, sostenido en su sitio por un elemento de disparo termosensible.

Los antepasados de los rociadores automáticos fueron los sistemas de tuberías perforadas y los rociadores abiertos, que se instalaron en buen número de industrias estadounidenses y europeas entre 1850 y 1880. Los sistemas no eran automáticos, las aberturas de descarga de las tuberías estaban a menudo taponadas con herrumbres y cuerpos extraños y la distribución del agua era pobre.

Los rociadores abiertos, que representan una mejora respecto a las tuberías perforadas, consistían en unos bulbos metálicos o alcachofas con numerosas perforaciones, unidas a las tuberías con lo que se pretendía obtener una mejor distribución del agua. Este sistema era ligeramente superior al de tubería perforada. La idea de protección a base de rociadores automáticos de modo que el calor del fuego pusiera en acción uno o más rociadores, permitiendo la salida del agua, data de 1860. Sin embargo, su aplicación práctica no comenzó hasta 1878, cuando se instaló el primer rociador automático; este rociador, muy elemental en comparación con los modernos, dió en general buenos resultados y demostró sin lugar a dudas que la protección por medio de éstos resultaba posible y de gran valía.

## 1.4 Importancia

La protección por medio de rociadores automáticos ayudó al desarrollo de las prácticas industriales, comerciales y mercantiles modernas. Las grandes superficies, los edificios de gran altura, las actividades peligrosas, las altas concentraciones de medios materiales humanos, que trabajan dentro de un área de incendios determinados, etc., son factores que tienden a crear condiciones que serían intolerables si no existiera protección contra incendios fija y automática.

Los rociadores automáticos son particularmente efectivos para la seguridad de la vida humana, ya que dan el aviso de la existencia de un fuego al mismo tiempo que liberan agua sobre la zona incendiada. Con un sistema de rociadores existen escasos problemas de acceso al lugar del fuego, o de visibilidad a causa del humo, que imposibilitan la lucha manual contra el fuego.

La actuación de los rociadores sobre el humo es doble: de una parte, el empuje físico sobre el humo tiende a mantenerlo en los niveles más bajos; por otra parte, el enfriamiento de los humos permite una estancia más prolongada de las personas, que no sería posible sin la acción de los rociadores.

Los rociadores automáticos, instalados y mantenidos adecuadamente, resultan de gran utilidad para evitar tanto la pérdida de vidas humanas como las pérdidas materiales.

Los sistemas de rociadores automáticos normales están dotados de medios para dar automáticamente la alarma en caso de que entren en acción; de este modo, no solamente aplican el agua en el punto donde más se necesita, sino que, además, producen una señal acústica. Así es posible inspeccionar, inmediatamente, las condiciones del incendio, reduciéndose consiguientemente los daños causados por el agua.

El agua descargada por un sistema de rociadores automáticos instalado, produce menos daños que los que produciría el agua de extinción lanzada a chorro con mangueras por el servicio de bomberos. La actuación de los rociadores no se ve impedida por el humo o el calor, como puede sucederles a los bomberos. Los rociadores automáticos pueden aplicar agua rápida y eficazmente sobre el foco del incendio. Una idea errónea común es que los rociadores comienzan a descargar agua todos al mismo tiempo. En realidad no es así, puesto que la mayor parte de los fuegos quedan dominados por la acción de solamente unos pocos rociadores que se encuentran en las cercanías inmediatas del foco del incendio.

## 1.5 Limitaciones

En esta tesis, no se ha incluido el estudio de los cuadros eléctricos y automáticos que acompañan a los sistemas contra incendio y sólo se mencionan los distintos dispositivos y accesorios que contienen dichos sistemas.



Los rociadores automáticos de agua en estudio no se pueden utilizar en aplicaciones directas sobre aquellos materiales que se combinan químicamente con el agua y pueden producir reacciones violentas o generar productos tóxicos y peligrosos. Entre estos materiales se incluyen los metales reactivos, Alcóxidos o alcoholatos metálicos, Haluros, Hidruros, Sulfuros, Cianatos, etc.

Esta tesis está basada en la investigación de un modelo matemático que simule un sistema de rociadores en funcionamiento, aplicado a una industria textil y además incluye datos respecto a elementos técnicos que conforman dicho sistema. Por otra parte, los costos y presupuestos de estos sistemas no están incluidos en ella.

## CAPÍTULO II

### PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS

#### 2.1 Hidráulica de protección contra incendios

La hidráulica de la protección contra incendios estudia el flujo de agua que pasa por las tuberías y orificios, tal como las salidas de los hidrantes, lanzas de las mangueras o rociadores. Es necesario entonces conocer dos aspectos muy importantes dentro de esta área.

##### 2.1.1 Presión

La presión ( $p$ ) es la unidad que mide la fuerza por unidad de superficie que causa un fluido por compresión. Normalmente se mide en kilopascales (KPa) cuando se usa un manómetro, o en altura ( $h$ ) en metros de columna de agua, pero también suele medirse como la altura de una columna de mercurio.

Cuando se estudia el flujo del agua en una tubería, la presión total  $p_t$  es la suma de la presión normal ( $p_n$ ) y la presión de velocidad ( $p_v$ ):

$$P_t = P_n + P_v \quad (2.1)$$

##### a. Presión Normal

La presión normal es la que ejerce el líquido contra la pared de una tubería o recipiente que lo contiene, ya sea circulando o en reposo. Si es en reposo, esta presión se denomina "presión estática". Si es circulando se denomina "presión residual".

La presión que ejerce una columna de agua está relacionada con su peso específico, a través de la siguiente fórmula:

$$p = \omega \times h \quad (2.2)$$

En unidades SI, el peso de un metro de columna de agua es igual a 9,81 KPa de fuerza:

$$p = 9.81 \times h$$

$$h = \frac{1}{9.81} \times p = 0.102 p$$

Una columna de 25,4 mm de mercurio ejerce una presión de 3,39 KPa, equivalente a 0,3456 m de columna de agua. La presión atmosférica normal es de 101,4 KPa, equivalente a una columna de agua de 10,35 m y a una columna de mercurio de 760,5 mm.

##### b. Presión de Velocidad

La velocidad ( $v$ ) que adquiere una masa de agua al aplicar sobre ella una presión es la misma que si esta masa cayera libremente, desde el estado de reposo, una

distancia equivalente a la altura de presión. Esta relación se representa por la ecuación de Torricelli:

$$V = \sqrt{2gh} \quad (2.3)$$

siendo: v: velocidad alcanzada (m/s)  
g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)  
h: altura de presión a la que se alcanza esa velocidad (m)

Igual que la presión estática se puede convertir en altura, la presión de velocidad se puede convertir a su vez en una altura estática equivalente. Su relación es:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (2.4)$$

siendo  $h_v$  = altura de velocidad, y  
 $p_v = 9,81 h_v$ ,

la presión de velocidad se puede expresar como:

$$p_v = 9,81 \frac{v^2}{2g}$$

Una ecuación útil para el cálculo de la velocidad a partir del caudal, se puede obtener aplicando el principio de conservación de la masa. Para una corriente continua y unidireccional con una velocidad media  $v$ , este principio se puede enunciar como:

$$Q = a v \quad (2.5)$$

de donde  $v = \frac{Q}{a} \quad (2.6)$

en la que: v: velocidad media (m/s)  
Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)  
a: sección de la tubería (m<sup>2</sup>)

### c. Altura Total

En cualquier punto de una tubería que contenga agua en movimiento, existe una altura de presión  $h_p$  (altura normal) que actúa perpendicularmente a las paredes de la tubería, con independencia de su velocidad; y una altura de velocidad  $h_v$  que actúa paralelamente a las paredes, sin ejercer presión sobre las mismas. Por lo tanto, como se indicó anteriormente, la altura total será:

$$H = h_p + h_v \quad (2.7) \quad P_t = (h_p + \frac{v^2}{2g}) \quad (2.8)$$

donde:  $p_t$ : presión total (kPa)  
 $h_p$ : altura (m)  
v: velocidad (m/s)

### 2.1.2 Teorema de Bernoulli

El teorema de Bernoulli expresa la ley física de conservación de la energía aplicada a los problemas de los fluidos no comprimibles. El teorema se puede expresar como sigue: "En un fluido estacionario sin rozamiento, la suma de la altura de la velocidad, altura de presión y altura geométrica es constante en todas las partículas del fluido a lo largo de todo su recorrido". En otras palabras, la presión total es la misma en todos los puntos del sistema.

Sin embargo, los sistemas reales tienen rozamiento, por lo que en la práctica hay que tener en cuenta las pérdidas debidas a éste y otros factores. Expresado matemáticamente, el teorema de Bernoulli aplicado a los puntos "A" y "B" es:

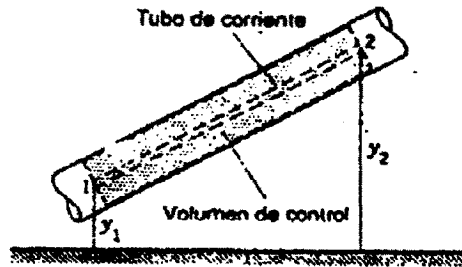


Figura 2.1  
Flujo inclinado

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + y_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + y_2 + h_{1-2} \quad (2.9)$$

donde:

- v: velocidad (m/s)
- g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- p: presión (kPa)
- y: altura geométrica por encima del plano de referencia (m)
- $\gamma$ : peso específico del fluido (kN/m<sup>3</sup>). Para el agua 9,81
- $h_{1-2}$ : pérdida de altura total entre los puntos "1" y "2" (m)

$$h_{1-2} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \quad (2.10)$$

Con frecuencia esta ecuación se conoce como *Ecuación de Bernoulli modificada* y puede aplicarse a cualquier serie de tubos rectos interconectados mediante diferentes clases de accesorios conectores.

### 2.1.3 Pérdida de carga en una tubería

#### a. Flujo Laminar

En el flujo en una tubería con un flujo laminar completamente desarrollado, el perfil de velocidad y la ecuación de pérdida de altura se escriben así:

$$V = \frac{\beta}{4\mu} \left( \frac{D^2}{4} - r^2 \right), \quad \beta = \frac{128q\mu}{\pi D^4} \quad (2.11)$$

o

$$V = \frac{p_1 - p_2}{4\mu L} \frac{D^2}{4} - r^2$$

y

$$h_l = \frac{128q\mu L}{\pi D^4 \rho} \quad (2.12)$$

### b. Flujo Turbulento

El flujo turbulento puede considerarse como la superposición de un flujo fluctuante aleatorio sobre un flujo bien ordenado. Desafortunadamente, la naturaleza de la componente fluctuante poco se conoce y aún no se ha desarrollado una teoría adecuada para analizar el flujo turbulento. Se han establecido algunas hipótesis con un éxito relativo, pero son útiles sólo en áreas de aplicación limitadas y todas requieren cierta información obtenida experimentalmente.

Se sabe que los cambios  $\Delta p$  en la presión a lo largo de una tubería con flujo turbulento dependen de las cantidades siguientes:

1. D, diámetro de la tubería
2. L, longitud de la tubería en la que se determina el cambio en la presión
3.  $\mu$ , coeficiente de viscosidad
4.  $v$ , promedio sobre una sección transversal de la velocidad media temporal que es equivalente a  $q/A$
5.  $\rho$ , densidad
6. e, variación promedio del radio de la tubería, es decir, una medida de la rugosidad de la tubería

En notación funcional esto se convierte en

$$\Delta p = f(D, L, \mu, V, \rho, e)$$

Al realizar un análisis dimensional para las variables anteriores, el resultado está dado por la siguiente relación que involucra cuatro grupos adimensionales:

$$\frac{\Delta p}{\rho V^2} = G \left( \frac{\rho V D}{\mu}, \frac{L}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

Intuitivamente resulta claro que el cambio  $\Delta p$  en la presión es directamente proporcional a la longitud L de la tubería. Por consiguiente, puede simplificarse la ecuación anterior para incluir esta relación en la siguiente forma:

$$\frac{\Delta p}{\rho V^2} = \frac{L}{D} H \left( \frac{\rho V D}{\mu}, \frac{e}{D} \right)$$

La función desconocida  $G$  de tres  $\pi$  se ha remplazado por una función desconocida  $H$  de solamente dos  $\pi$ . Al remplazar  $\Delta p$  por  $h_l \rho$ , debido a que se tiene un flujo horizontal, paralelo y promedio temporal, y al ordenar términos, se obtiene:

$$h_l = \frac{V^2 L}{2 D} \left( K \left( \frac{\rho V D}{\mu}, \frac{e}{D} \right) \right)$$

Para formar el término familiar de energía cinética se ha dividido por 2. Esto se permite debido a que aún existe una función indeterminada en la ecuación. Finalmente, en la práctica la función desconocida  $K(\rho V D / \mu, e/D)$  se conoce como factor de fricción. Utilizando la notación  $f$  para este término, la forma final de las consideraciones dimensionales se convierte en la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \quad (2.10)$$

El término  $f$  se determina experimentalmente de manera que satisfaga la ecuación de Bernoulli modificada, al utilizar promedios temporales.

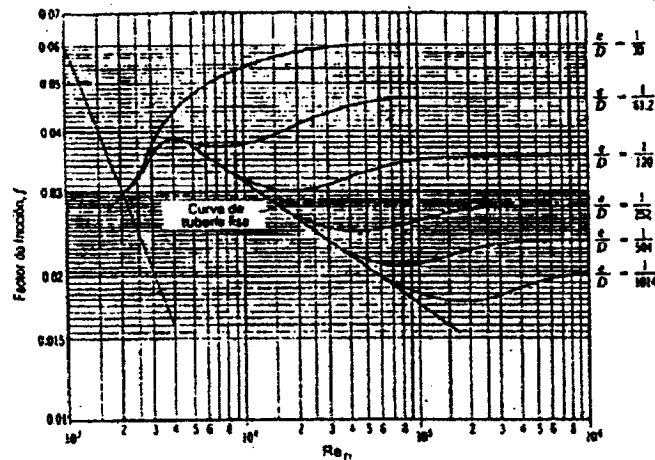


Figura 2.2  
Datos de Nikuradse correspondientes a flujos en tuberías con rugosidad artificial.

Nótese que los datos cubren los intervalos laminar y turbulento. Para los números de Reynolds por debajo de 2,300 existe una relación simple entre el factor de fricción y el número de Reynolds, que es completamente independiente de la rugosidad.

Para calcular la relación entre  $f$  y  $Re_D$ , para el intervalo de flujo laminar, se sustituye la expresión teórica para la pérdida de altura del flujo laminar [ecuación (2.12)] en la ecuación (2.10). Haciendo esto, se obtiene:

$$\frac{128 q \mu L}{\pi D^4 \rho} = \frac{V^2 L}{2 D} f$$

Al remplazar  $q$  por  $V(\pi D^2/4)$  y despejar  $f$ , se obtiene:

$$f = \frac{64}{\rho V D / \mu} = \frac{64}{Re_D} \quad (2.13)$$

$$f = \frac{64}{Re_D}$$

Debe recordarse que los datos de Nikuradse se desarrollaron para condiciones de rugosidad artificiales. Existe la pregunta de qué tan bien se aproxima este tipo de rugosidad a las condiciones de rugosidad encontradas en situaciones reales. Moody hizo un estudio extenso sobre datos en tuberías comerciales para modificar la gráfica anterior con el fin de que sea útil en problemas prácticos. En la figura 2.13 se muestra la nueva gráfica junto con la tabla 2.1, en la cual pueden encontrarse los valores pertinentes del coeficiente de rugosidad  $e$  para numerosas superficies. Nótese en este momento que para números de Reynolds entre 2000 y 4000 las curvas se encuentran punteadas, lo cual significa que para estos números los datos correspondientes a  $f$  no son precisos. Además, esto se recalca mediante el área sombreada que se muestra en los datos de Moody.

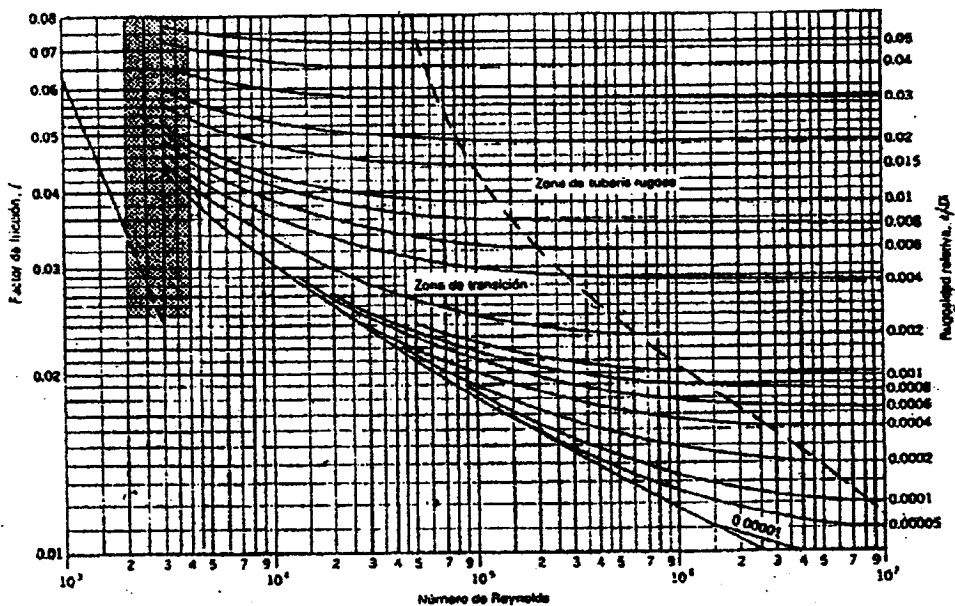


Figura 2.3  
Factores de fricción para flujo en tuberías

Se utilizará el diagrama de Moody para resolver problemas de tuberías. Si se consideran enfoques numéricos apropiados para utilizarlos en un computador digital, es conveniente tener una ecuación matemática de  $f$  en función de  $e/D$  y  $Re_D$ . Existen diferentes fórmulas de correlación semiempíricas que relacionan  $f$  con  $e/D$  y  $Re_D$ . La ecuación más conocida es la fórmula de Colebrook, la cual, para la zona de transición friccional, es como sigue:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2.0 \log \left( \left[ \frac{e}{D} \right] + \frac{9.35}{Re_D \sqrt{f}} \right) \quad (2.14)$$

donde debe notarse que  $\log$  corresponde a la base 10 ( $\ln$  corresponde a la base  $e$ ). Esta ecuación tiene la desventaja de que  $f$  no aparece en forma explícita y para  $e/D$  y  $Re_D$  dados debe resolverse mediante iteraciones. En la zona completamente rugosa de flujo,  $f$  no depende del número de Reynolds, de manera que al considerar la ecuación (2.14), significa que  $e/D \gg 9.35/(Re_D \sqrt{f})$ . Por consiguiente, puede darse la ecuación para  $f$  explícitamente, como sigue para la zona completamente rugosa de flujo:

$$f = \frac{1}{[1.14 - 2.0 \log (e/D)]^2} \quad (2.15)$$

A continuación se presentan otras ecuaciones más recientes válidas para ciertos intervalos de valores de  $e/D$  y  $Re_D$ , los cuales cubren la mayor parte de la zona de transición friccional al igual que la zona de tubería rugosa.

Además, la ecuación tiene la virtud de ser explícita para  $f$ . Se tiene:

$$f = \frac{0.25}{\{\log [(e/3.7D) + (5.74/Re_D^{0.9})]\}^2} \quad (2.16)$$

la cual es válida para los rangos

$$\begin{aligned} 5 \times 10^3 &\leq Re_D \leq 10^8 \\ 10^{-6} &\leq \frac{e}{D} \leq 10^{-2} \end{aligned}$$

Finalmente, para la zona hidráulicamente lisa del flujo turbulento en tuberías se tiene una ecuación empírica desarrollada por Blasius y válida para  $Re_D \leq 100000$ .

$$f = \frac{0.3164}{Re_D^{1/4}} \quad (2.17)$$

#### 2.1.4 Pérdidas menores en sistemas de tuberías

Cuando en las tuberías existen codos, válvulas, etc., usualmente es necesario tener en cuenta las pérdidas de altura a través de estos accesorios, además de las pérdidas causadas por la fricción en las tuberías. Casi siempre se hace esto utilizando resultados experimentales.



Esta información está dada en la forma

$$h_l = K \frac{V^2}{2} \quad (2.18)$$

donde el coeficiente  $K$  se encuentra en numerosos manuales para los accesorios comerciales. No se hace distinción entre flujo laminar y flujo turbulento. La velocidad  $V$  puede estipularse en el manual como la velocidad promedio  $q/A$  aguas arriba o aguas abajo hacia el accesorio o desde éste. Luego, se incluye estas pérdidas menores en la ecuación de Bernoulli modificada (o en la primera ley de la termodinámica) junto con las pérdidas en la tubería.

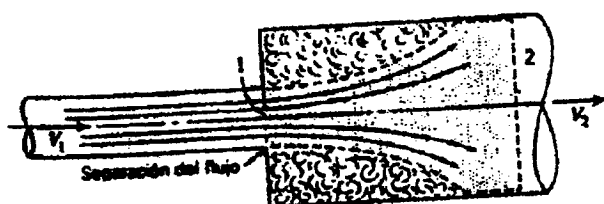


Figura 2.4  
Expansión repentina

Existe un caso importante en el cual puede estimarse la pérdida de altura utilizando métodos analíticos: es el de una expansión repentina, como la que se muestra en la figura 2.4. Nótese que pueden especificarse dos regiones en el tubo más ancho, una que aparece como un flujo muy irregular y una región de flujo razonablemente suave. Es útil imaginar un volumen de control que encierre la región del flujo más suave, con el extremo 1 a la entrada del tubo más ancho y el extremo 2 suficientemente alejado aguas abajo de manera que esté en una región de flujo paralelo.

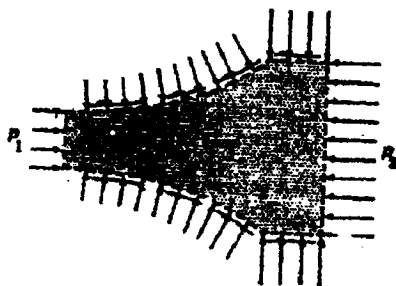


Figura 2.5  
Volumen de control alrededor de  
la región de flujo suave

En la figura 2.5 se muestra por separado este volumen de control. Con una velocidad promedio  $V_1$  dada en el tubo más delgado, existe una velocidad promedio  $V_2$  en el tubo más ancho determinada por la ecuación de continuidad. Para un flujo incompresible, el flujo de momentum lineal a través de la superficie de control es esencialmente una cantidad fija una vez que se ha especificado la

velocidad en el tubo de aguas arriba. Esto implica que la fuerza total en la dirección horizontal sobre la superficie de control también es fija. Para tal condición, supóngase que los esfuerzos normales sobre la parte curva de la superficie de control disminuyen, mientras que los esfuerzos cortantes permanecen sin cambio. Entonces es necesario que la presión  $p_2$  disminuya con el fin de mantener el mismo flujo de momentum lineal a través del volumen de control (y, por consiguiente, la misma fuerza total en la dirección horizontal sobre la superficie de control). Por consiguiente existe una pérdida de altura mayor entre las secciones 1 y 2.

En un caso real, debido a la alta turbulencia y a la acción de mezcla en el paquete de fluido por fuera del volumen de control, hay muy poca recuperación de la presión a expensas de la energía cinética del fluido que entra al paquete desde la corriente principal. En lugar de esto, la energía cinética se disipa en energía interna y transferencia de calor. Por consiguiente, la presión en el paquete tiende a mantenerse igual a la presión baja  $p_1$  en el punto de separación (véase la figura 2.5) la que origina una pérdida de altura comparativamente alta.

Si se emplea un conducto con la forma del volumen de control, se producirán esfuerzos mayores a lo largo de la pared en ausencia de los efectos perjudiciales del paquete de baja presión en la expansión repentina y, suponiendo una acción cortante similar, para las condiciones de entrada dadas la presión  $p_2$  debe ser mayor para esta disposición, lo cual indica la menor pérdida de altura que se espera cuando se utiliza al "perfilar aerodinámicamente".

En los cálculos subsiguientes se supone una recuperación de presión nula en el paquete, de manera que  $p_1$  persiste a través de esta región. Si no se tienen en cuenta los esfuerzos cortantes, la ecuación de momentum lineal para el volumen de control mencionado antes, se convierte en:

$$p_1 A_2 - p_2 A_2 = \rho V_2^2 A_2 - \rho V_1^2 A_1,$$

Al remplazar  $V_1$  por  $V_2 (A_2/A_1)$  mediante continuidad y luego de ordenar términos se obtiene:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = V_2^2 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \quad (2.19)$$

Para calcular la pérdida de altura se escribe la primera ley de la termodinámica para el volumen de control, utilizando la definición básica de pérdida de altura. Así,

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho} + h_l$$

Al sustituir  $(p_1 - p_2)/\rho$  en la ecuación (2.19) puede establecerse el resultado final de  $h_l$ , como

$$h_l = \frac{V_2^2}{2} \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right)^2 = \frac{V_2^2}{2} \left( 1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right)^2 \quad (2.20)$$

Para una contracción gradual o para una expansión gradual (véanse las figuras 2.6 y 2.7 respectivamente se dan las ecuaciones para el coeficiente de factor de fricción  $K$ . Nótese que las velocidades utilizadas en  $V^2/2$  para la expresión  $K(V^2/2)$  en los respectivos diagramas son diferentes. Nótese también que para expansiones repentinas ( $\theta = \pi$ ), el factor  $K$  de la figura 2.17 se convierte en:

$$K = \frac{[1 - (D_1/D_2)^2]^2}{(D_1/D_2)^4} = \left[ \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 - 1 \right]^2 = \left( 1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right)^2 \quad (2.21)$$

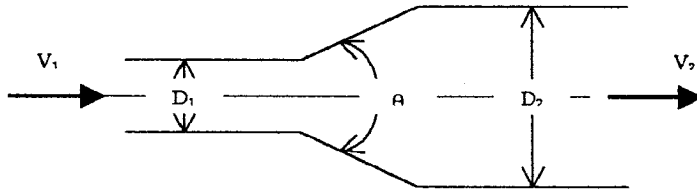


Figura 2.6  
Factor de pérdida de altura para una contracción gradual.

$$\text{Si } \theta \leq 45^\circ, \quad K = \frac{0.8 \operatorname{sen} (\theta/2) [1 - (D_2/D_1)^2]}{(D_2/D_1)^4}$$

$$\text{Si } 45^\circ < \theta \leq 180^\circ, \quad K = \frac{0.5 [1 - (D_2/D_1)^2] \sqrt{\operatorname{sen} (\theta/2)}}{(D_2/D_1)^4}$$

$$h_f = K \frac{V_1^2}{2}$$

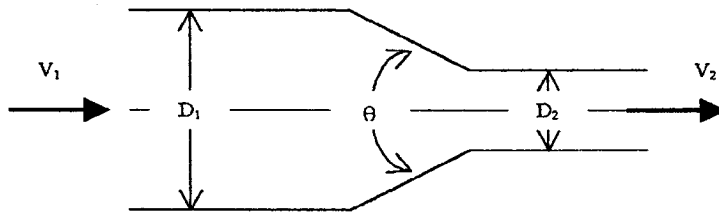


Figura 2.7  
Factor de pérdida de altura para una expansión gradual.

$$\text{Si } \theta \leq 45^\circ, \quad K = \frac{2.6 \operatorname{sen} (\theta/2) [1 - (D_1/D_2)^2]}{(D_1/D_2)^4}$$

$$\text{Si } 45^\circ < \theta \leq 180^\circ, K = \frac{[1-(D_1/D_2)^2]}{(D_1/D_2)^4}$$

$$h_l = K \frac{V_2^2}{2}$$

Este es idéntico al resultado de K en la ecuación (2.20), que era la ecuación deducida analíticamente. Además, para la contracción repentina (figura 2.6), se tiene el valor:

$$K = \frac{0.5 [1-(D_2/D_1)^2]}{(D_2/D_1)^4} \quad (2.22)$$

donde la ecuación anterior corresponde a ( $\theta = \pi$ ).

Material (Nuevo)	e	
	pies	mm
Vidrio	0.000001	0.0003
Tubería PVC, CPVC	0.000005	0.0015
Asbesto cemento	0.000098	0.03
Acero, hierro forjado	0.00015	0.046
Hierro forjado	0.0002	0.06
Hierro fundido asfaltado	0.0004	0.12
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Arcilla vitrificada	0.0005	0.15
Hierro fundido	0.0005	0.15
Hierro dúctil	0.00082	0.25
Madera cepillada	0.0006-0.003	0.18-0.9
Concreto	0.001-0.01	0.3-3.0
Acero bridado	0.003-0.03	0.9-9.0

Tabla 2.1  
Rugosidad promedio para diferentes materiales utilizados en la  
fabricación de tuberías.

En las tablas 2.2 y 2.3 se dan los factores K para algunos accesorios importantes conectados a tuberías con ciertos diámetros nominales. Nótese que el diámetro nominal no corresponde exactamente al diámetro interno de la tubería. En la tabla 2.4 se dan los diámetros nominales para tubos de acero al carbón y aleaciones de acero al igual que acero inoxidable, junto con el diámetro interno y con el área de la sección transversal interna. Nótese que los diámetros internos hasta un tamaño de 12 pulg. son ligeramente mayores que los diámetros nominales, mientras que después de 12 pulg. el diámetro interno es menor que el diámetro nominal.

	Diámetro nominal, pulg											
	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
Válvula de compuerta (abierto)	0.22	0.20	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.096
Válvula de globo (abierto)	0.20	8.50	7.80	6.50	6.50	6.10	5.80	5.40	5.1	4.80	4.40	4.10
Codo estándar (atornillado) 90°	0.80	0.75	0.69	0.57	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36
Codo estándar (atornillado) 45°	0.43	0.40	0.37	0.30	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
"T" estándar (flujo recto)	0.54	0.50	0.46	0.38	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
"T" estándar (flujo cruzado)	1.62	1.50	1.38	1.14	1.14	1.08	1.02	0.96	0.90	0.84	1.78	0.72

Tabla 2.2  
Factores K para accesorios

	Tamaño nominal de la tubería, pulg										
r/d	1/2	3/4	1	2	3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
1	0.54	0.50	0.46	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
3	0.32	0.30	0.276	0.228	0.216	0.204	0.192	0.018	0.168	0.156	0.144
6	0.459	0.425	0.391	0.32	0.31	0.29	0.27	0.24	0.24	0.22	0.20
10	0.81	0.75	0.69	0.57	0.54	0.51	0.48	0.42	0.42	0.39	0.36
14	1.03	0.95	0.87	0.72	0.68	0.65	0.61	0.53	0.53	0.49	0.45
20	1.35	1.25	1.15	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70	0.70	0.65	0.60

Tabla 2.3  
Factores K para codos bridados de 90°

Accesorios	$k_m$
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.00 - 1.15
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24.0
Codo de radio corto ( $r/d = 1$ )	0.9
Codo de radio mediano	0.75 - 0.80
Codo de gran radio ( $r/D = 1.5$ )	0.6
Codo de 45°	0.40 - 0.42
Retorno (Curva en U)	2.2
Tee en sentido recto	0.3
Tee a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8

Tabla 2.4  
Coeficientes para pérdidas en codos y accesorios

d1/d2	Velocidad								
	0.6 m/s 2 pies /s	1.2 m/s 4 pies /s	1.8 m/s 6 pies /s	2.4 m/s 8 pies /s	3 m/s 10 pies /s	4.5 m/s 15 pies /s	6 m/s 20 pies /s	9 m/s 30 pies /s	12 m/s 40 pies /s
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	8	0.08	0.09	0.1	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.2
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0	0.4	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.3
2.5	0.42	0.42	0.41	0.4	0.4	0.38	0.37	0.34	0.31
3	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.4	0.39	0.36	0.33
4	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.4	0.36
	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

Tabla 2.5  
Coeficientes de pérdidas menores para contracciones bruscas.

Diámetro nominal pulg	Diámetro interno pulg	Área de sección transversal interna, pulg
1/2	0.364	0.1041
3/4	0.824	0.533
1	1.049	0.864
1 1/2	1.610	2.036
2	2.067	3.356
3	3.068	7.393
4	4.026	12.73
5	5.047	20.01
6	6.065	28.89
8	7.981	50.03
10	10.020	78.85
12	12.000	113.10
14	13.000	132.73
16	15.250	182.65
18	17.250	233.71
20	19.250	291.04
22	21.250	354.66
24	23.250	424.56

Tabla 2.6  
Tamaños nominales para tuberías estándares

### 2.1.5 Descarga de agua a través de orificios

Cuando un líquido sale de una tubería, conducto o recipiente a través de un orificio a la atmósfera, la presión normal se convierte en altura de velocidad. El caudal del agua a través de un orificio puede expresarse en función de la velocidad y de la sección, siendo la relación básica  $Q = av$ , del chorro donde  $Q$  es el caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$ , “a” la sección en  $\text{m}^2$  y “v” la velocidad en ese punto en  $\text{m/s}$ . De las anteriores fórmulas sobre la presión de velocidad, sabemos que:

$$Q = a \sqrt{2gh} \text{ y } h = 0,102p$$

$$Q = 0,066d^2 \sqrt{p_v} \quad (2.23)$$

donde:  $Q$ : caudal ( $\text{l/min.}$ )  
 $d$ : diámetro interior (mm)  
 $p_v$ : presión de velocidad (KPa)

Las ecuaciones anteriores suponen que:

1. El chorro es continuo y del mismo diámetro que el orificio de salida, y
2. Que la totalidad de la altura se convierte en presión de velocidad, uniforme en toda la sección. Pero este es un caso teórico al que no se llega nunca, como se verá en la explicación siguiente.

#### Coefficientes de descarga

En condiciones reales con lanzas u orificios, la velocidad, considerada como velocidad media en toda la sección del chorro, a veces es algo inferior a la velocidad calculada a partir de la presión. Esta reducción se debe al rozamiento del agua contra la lanza u orificio y a la turbulencia dentro de la lanza u orificio y se expresa mediante un coeficiente de velocidad  $c_v$ . Los valores de  $c_v$  se calculan mediante pruebas de laboratorio. Cuando las lanzas están bien diseñadas, este coeficiente es casi constante y aproximadamente igual a 0,98.

Algunas lanzas están diseñadas de modo que la sección real del chorro sea algo menor que la del orificio. Esta diferencia se contempla mediante un coeficiente de contracción  $c_c$ . Para orificios con aristas vivas, su valor es aproximadamente de 0,62.

Generalmente los coeficientes de velocidad y contracción se combinan como un solo coeficiente de descarga denominado  $c_d$ :

$$C_d = c_v \times c_c \quad (2.24)$$

Por consiguiente, la ecuación básica del caudal se puede escribir así:

$$Q = 0,066c_d d^2 \sqrt{p_v} \quad (2.25)$$

El coeficiente de descarga  $c_d$  se define como la relación entre la velocidad de descarga real y teórica. Para un orificio o lanza específica, los valores de  $c_d$  se calculan mediante procedimientos normalizados de ensayo a partir de esta definición.

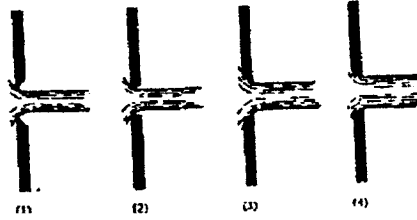


Figura 2.8

Orificio de diversas formas. Si se cambia la forma del orificio de modo que se disminuya la contracción, se aumenta su capacidad. La forma (1) de la ilustración es un orificio normalizado con aristas vivas, por el lado de la entrada. La forma (2), cuando el orificio se encuentra en una chapa delgada, da las mismas características de chorro que en la forma (1). La forma (3) es la inversa de la (1). En la forma (4) las aristas están redondeadas para ajustarse a la configuración del chorro. Los coeficientes de descarga de la (3) y la (4) son mayores que los de los orificios normalizados, aproximándose al valor de 1 en el caso (4).

#### a) Orificio normalizado

Un orificio con aristas vivas de entrada, como el que se ve en (1) de la Figura 2.8, se conoce como orificio normalizado y es el que se emplea comúnmente para la medición de caudales de agua. Al salir el agua por dichos orificios se contrae para formar un chorro cuya sección es inferior a la del orificio. La contracción es completa en el plano  $a'$  (ver Figura 2.9), que está situado a una distancia del plano del orificio aproximadamente igual a la mitad del diámetro del chorro.

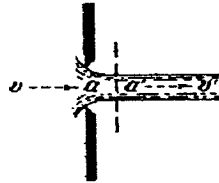


Figura 2.9

Flujo a través de un orificio normalizado.

La cantidad de agua que fluye por el orificio es evidentemente igual en " $a$ " que en la parte contraída " $a'$ ", de modo que la cantidad descargada se puede calcular midiendo la velocidad y superficie en cualquiera de estos planos. Expresado en una fórmula en la que  $Q$  indica los  $m^3/s$ ,  $v$  indica la velocidad en  $m/s$  y  $a$  es la sección del chorro en  $m^2$ :

$$Q = av = a'v' \quad (2.26)$$

El coeficiente de descarga de un orificio normalizado es el producto del coeficiente de velocidad por el coeficiente de contracción, es decir,  $c = 0,98 \times 0,62 = 0,61$ .



### b) Otros orificios

Las características hidráulicas de una buena lanza para chorro continuo deben ser adecuadas para una gran variedad de caudales. La velocidad en la superficie del chorro de la mayoría de dichas lanzas se reduce ligeramente por la fricción en el orificio o lanza. Generalmente se aplica un coeficiente de velocidad de 0,97 para tener esto en cuenta.

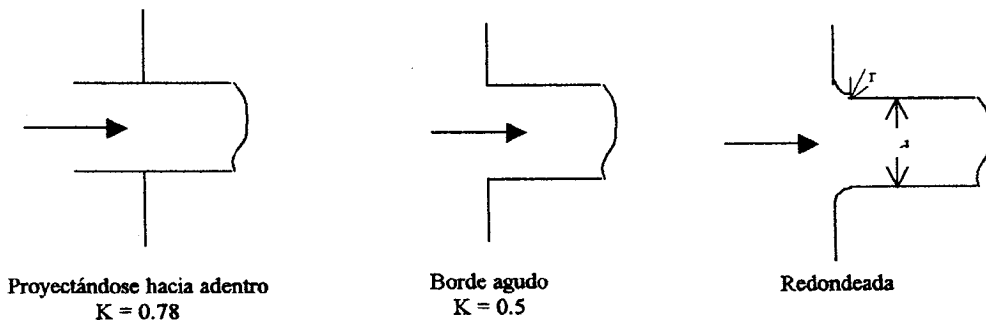
Existen coeficientes de descarga para la salida del agua a través de hidrantes, lanzas de mangueras, rociadores automáticos y otros orificios corrientes de protección contra incendios.

En la Tabla 2.7 se incluyen los valores representativos de esos coeficientes de descarga. Estos coeficientes sólo se aplican cuando sale agua por todo el orificio o lanza con un perfil de velocidad razonablemente uniforme.

Rociador normal medio (diámetro nominal 1/2")	0,75
Rociador normal medio (diámetro nominal 17/32")	0,95
Rociador normal medio (diámetro nominal 0,64")	0,90
Orificio normalizado (aristas vivas)	0,62
Lanza de bordes lisos, en general	0,96 – 0,98
Tubos ajustables Underwriter o similares	0,97
Lanzas de diluvio o de divergencia	0,997
Tubería abierta lisa y bien redondeada	0,90
Tubería abierta, abertura con rebarbas	0,80
Boca de hidrante con salida lisa y bien redondeada, a pleno caudal	0,90
Boca de hidrante con aristas vivas	0,80
Boca de hidrante con salida cuadrada que se introduce en el cuerpo del hidrante	0,70

Tabla 2.7. Coeficientes de descarga típicos de lanzas de chorro compacto

Finalmente, en la figura 2.10 se muestran los factores K para entradas a tuberías.



$r/d$	0.02	0.04	0.06	0.1	0.15 y superiores
K	0.28	0.24	0.15	0.09	0.04

Figura 2.10  
Entrada a tuberías.

## CAPITULO III

### DISEÑO DE SISTEMAS CONTRA INCENDIO

#### 3.1 Abastecimiento de agua para sistemas contra incendio

Las instalaciones de almacenamiento de agua y abastecimiento por aspiración, en su sentido más amplio, abarcan cualquier masa de agua disponible como fuente de suministro, tanto si está contenida por una barrera artificial como natural. Los depósitos de almacenamiento de agua, elevados o a ras de tierra, ya sean de metal, madera, o tela cauchatada, son ejemplos de instalaciones de almacenamiento artificiales. Los ríos, lagunas y puertos son ejemplos de instalaciones de almacenamiento.

Otras fuentes de agua libre, como pantanos o embalses, se emplean, algunas veces, en la lucha contra el fuego por organizaciones privadas, bien para complementar los suministros públicos de agua o bien como fuente primaria, especialmente en aquellos casos en que el suministro público es insuficiente en caudales o presión, o en ambos, o cuando carece de fiabilidad. Sin embargo, esta utilización es factible solamente en determinadas situaciones. El método más común consiste en disponer depósitos elevados que funcionen por gravedad, o depósitos a ras del suelo que funcione por aspiración de las bombas de incendios. Los depósitos a presión, debido a su limitada capacidad, sólo deben usarse en los casos en que las necesidades de agua sean relativamente pequeñas.

##### 3.1.1. Definiciones

*Fuente de alimentación de agua:* Suministro natural o artificial, capaz de garantizar el caudal (Q) de agua requerido por los sistemas de protección contra incendios durante el tiempo de autonomía (t) mínimo necesario. Una fuente de alimentación es asimilable a una reserva de agua (R):

$$R \text{ (m}^3\text{)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times t \text{ (h)}$$

*Fuente de reposición:* Sistema capaz de reponer en un tiempo máximo establecido la reserva de un depósito utilizado como fuente de alimentación de agua.

*Sistema de impulsión:* Conjunto de medios (equipos de bombeo, depósito de presión, etc.) o circunstancias naturales (elevación de la reserva de agua) que permiten mantener las condiciones de presión (P) y caudal (Q) requeridos en los sistemas de protección contra incendios. Los sistemas de impulsión del tipo equipos de bombeo o el asociado a las redes públicas de distribución deben mantener las condiciones de presión y caudal, al estar ambas variables relacionadas por una función, cuya representación es la curva P-Q. Los sistemas de impulsión asociados a depósitos elevados o de presión sólo mantienen la presión, al ser variables independientes P y Q a la salida del depósito.

*Red general de incendios:* Conjunto de tuberías, válvulas y accesorios que permiten la conducción del agua desde las fuentes de alimentación hasta los puntos de conexión de cada sistema de protección contra incendios específicos.

*Sistema de protección contra incendios:* Son las instalaciones de protección contra incendios específicos, que emplean, en el caso que nos ocupa, agua como agente extintor, alimentadas desde la red general de incendios. Un sistema de protección específico comienza a partir de la válvula de corte existente en la acometida de conexión del mismo a la red general de incendios.

*Abastecimiento de agua (ABA):* Sistema formado por una o varias fuentes de alimentación de agua, uno o varios sistemas de impulsión y una red general de incendios, y destinado a asegurar, para uno o varios sistemas de protección contra incendios, el caudal y la presión de agua necesarios durante el tiempo de autonomía requerido.

### 3.1.2. Fuentes de alimentación de agua

#### 3.1.2.1 *Condiciones del Agua*

El agua a utilizar en las instalaciones de protección contra incendios será preferiblemente dulce y limpia. No obstante, se aceptarán aguas saladas o de cualquier otro tipo, si se tienen en cuenta sus características químicas para la selección de los equipos, tuberías, válvulas y accesorios que componen el abastecimiento de agua y los sistemas de protección contra incendios. Cuando se empleen aguas que pueden ser agresivas para los componentes del abastecimiento de agua, las tuberías del mismo, en estado de reposo, se mantendrán cargadas con agua dulce no agresiva. En este caso la reposición de fugas también se realizará con agua de estas características desde una fuente de alimentación segura y fiable. Después de cada utilización se procederá al lavado y limpieza por flujo, con agua dulce, de todas las tuberías del abastecimiento de agua y de los sistemas de protección contra incendios antes de dejarse en estado de reposo.

#### 3.1.2.2 *Tipos y Aplicaciones de las Fuentes de Alimentación*

Los tipos y aplicaciones de las fuentes de alimentación son los siguientes:

##### a) Redes Públicas de Distribución

Las redes públicas de distribución son fuentes de alimentación de agua de estructura y componentes similares a un ABA privado, pero destinados a satisfacer las demandas en uno o varios usos, de un número indeterminado de consumidores.

Las redes públicas pueden tener las siguientes aplicaciones:

- Suministro de agua a la red de incendios, si es capaz de garantizar las condiciones de presión y caudal necesarios en los sistemas de protección contra incendios durante el tiempo de autonomía.
- Suministro de agua a la red general de incendios, con equipo de bombeo de refuerzo, si es capaz de garantizar las condiciones de

caudal necesarias en los sistemas de protección contra incendios durante el tiempo de autonomía requerido.

- Fuente de reposición de agua (sistema de agua).

#### b) Fuentes Inagotables

Fuentes de alimentación de agua inagotables naturales:

- Ríos
- Lagos
- Mares
- Océanos

Fuentes de alimentación de agua inagotables artificiales:

- Canales
- Embalses
- Pozos

Las fuentes de alimentación de agua inagotables podrán tener los siguientes usos:

- Fuentes de reposición de agua.
- Sustituto del depósito de reserva, utilizando un equipo de bombeo que aspire directamente de dicha fuente o cualquier otro sistema de impulsión válido

#### c) Depósitos

Los depósitos de reserva se emplean para el almacenamiento de agua. Los depósitos pueden agruparse en los siguientes tipos:

Depósitos bajo o sobre superficie. Este tipo de depósito va asociado a un equipo de bombeo y se les denominan depósitos de aspiración.

Depósitos elevados. Son aquellos en los que existe una diferencia de altura positiva entre el nivel mínimo del agua en el depósito y los puntos de aplicación de los sistemas de protección contra incendios. También se les denominan depósitos de gravedad.

Depósitos de presión. Son depósitos cerrados, en los que la presión necesaria en los sistemas de protección contra incendios se garantiza mediante un gas, normalmente aire comprimido.

#### 3.1.3. Sistemas de impulsión

Los tipos de sistemas de impulsión que se emplean en sistemas de protección contra incendios son:

- Presión propia (redes de uso público).
- Presión de altura (depósitos o fuentes inagotables elevadas).
- Equipos de bombeo.
- Presurización neumática (depósitos de presión).

El cuadro indica las posibles combinaciones de fuentes de alimentación (con reserva de agua suficiente) y sistemas de impulsión.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE AGUA			SISTEMA DE IMPULSIÓN
Red Pública	Presión suficiente		Presión propia
	Presión insuficiente		Presión propia + equipo de bombeo de refuerzo
Fuentes Inagotables	Altura suficiente		Presión de altura
	Altura insuficiente		Presión de altura + equipo de bombeo de refuerzo
Depósitos	Depósito de aspiración		Equipo de bombeo
	Depósito elevado	Altura suficiente	Presión de altura
		Altura insuficiente	Presión de altura + equipo de bombeo de refuerzo
	Depósito de presión		Presión neumática

#### 3.1.4. Características generales de los abastecimientos de agua

Para el diseño y cálculo de un ABA o para el análisis de adecuación de un ABA existente se deberán tener presentes las prestaciones del mismo (presión, caudal y tiempo) y, además, las condiciones de fiabilidad que garanticen su perfecto funcionamiento en cualquier circunstancia y ocasión. La fiabilidad se consigue en las fases de diseño e instalación y supone no sólo el empleo de materiales adecuados para este uso correctamente instalados, sino que también puede implicar el empleo de equipos redundantes que suplan los posibles fallos.

La presión propia de la red pública y la presión de altura de los depósitos elevados podrán ser sistemas de impulsión comunes a usos industriales e incendios.

Cuando un sistema de protección contra incendios entra en demanda, el funcionamiento del abastecimiento de agua deberá ser automático. Además, estarán permanentemente en disposición de empleo y no se verán afectados por la falla de suministro eléctrico en otros usos del riesgo protegido. El abastecimiento de agua estará bajo control exclusivo del usuario de los sistemas de protección contra incendios a los que alimenta, excepto en el caso de que la única fuente de alimentación existente sea la red pública de distribución.

Las válvulas de corte existente en un abastecimiento de agua permanecerán constantemente en posición abierta, para lo que se precintarán en dicha posición. Estas válvulas serán, en su totalidad, de tipo indicador, tales como las válvulas de compuerta de husillo ascendente, de poste indicador o de mariposa. El abastecimiento de agua no se verá afectado por las heladas; su temperatura será superior a 4°C en cualquier de sus componentes (tuberías, agua de reserva, recintos del cuarto de bombas, etc.) o a la temperatura mínima indicada por los fabricantes de los equipos, cualquiera que sea mayor; si no se cumple esta condición se instalarán los sistemas adecuados para evitar la congelación. El abastecimiento de agua no contendrá ni transportará materiales sólidos que puedan obstruir las conducciones o afectar a piezas en movimiento. Cuando sea preciso, en especial cuando las variaciones de velocidad en la red general de incendios puedan ser más elevadas, el abastecimiento de agua estará dotado de un

dispositivo adecuado para la amortiguación de los esfuerzos originados en los fenómenos de golpe de ariete.

### 3.1.5. Depósitos de agua de gravedad y de aspiración

En principio, es bueno reconocer que con la llegada de los sistemas de rociadores diseñados hidráulicamente, la utilización de depósitos elevados para protección contra incendios, ha disminuido; sin embargo, la utilización de depósitos de aspiración a nivel de tierra, en combinación con bombas contra incendios, ha aumentado.

Aún más, existen muchos depósitos elevados de gravedad, que permanecen en servicio y utilizados tan sólo por el servicio de protección contra incendios. Requieren altas normas de mantenimiento para continuar teniendo fiabilidad como fuentes primarias de los sistemas de extinción por agua.

Es conveniente que los depósitos de agua destinados a la lucha contra el fuego no se empleen para ningún otro fin. El frecuente llenado del depósito, necesario cuando el agua se emplea para otros fines, es un inconveniente serio porque el depósito en un recipiente de decantación produce gran acumulación de sedimento, de modo que las tuberías del sistema pueden quedar obstruidas.

En los depósitos de madera, el cambio de nivel del agua produce una desecación y empapamiento alternativo de la madera que reduce su vida. En los depósitos de acero, se precisa pintarlos más a menudo, lo que significa no solamente más gasto, sino también más tiempo fuera de servicio.

Otra consideración importante respecto al empleo de los depósitos para más de un fin, es que en el momento del incendio pudiera no haber suficiente agua disponible. En estos casos, el depósito no estará lleno más que en raras ocasiones, puesto que los usos domésticos e industriales consumirán constantemente su contenido. Es posible que al crecer la industria que se sirve del depósito, el nivel normal del agua sea cada vez más bajo. Si ocurriera un incendio varios años después de la instalación del depósito, es posible que el agua disponible fuera insuficiente en cantidad y en presión.

#### 3.1.5.1 *Emplazamiento*

Los depósitos de gravedad deben instalarse sobre una torre independiente de acero, con sus cimientos directamente sobre el terreno, y no situados encima de un edificio. Preferiblemente el emplazamiento elegido debe ser tal que el depósito no se vea amenazado por un incendio originado en edificios contiguos. En caso contrario, si no hubiera suficiente espacio en el patio exterior, la estructura de acero que quede expuesta debe estar adecuadamente protegida. Esta protección, cuando sea necesaria, debe incluir todos los elementos estructurales de acero situados a menos de 6 metros de edificaciones combustibles o de aberturas por las que pudiera propagarse un incendio.

Cuando el depósito o la estructura que los sostiene haya de situarse sobre los muros de un edificio nuevo, éste debe estar calculado y construido de modo que pueda soportar las sobrecargas máximas.

Los depósitos de succión deben situarse de modo que se reduzca al mínimo la longitud de las conducciones de agua. La caseta de bombas debe estar

colocada cerca del depósito para que la fuerza de succión sea mínima. Los depósitos no deben estar situados donde puedan verse expuestos al incendio de edificaciones combustibles o cerca de ventanas por las que pudieran propagarse fuegos interiores.

#### 3.1.5.2 *Cálculo Sismoresistente*

Los depósitos de almacenamiento de agua deben estar calculados para resistir terremotos, el movimiento del terreno produce una vibración en los depósitos elevados, con tensiones superiores a las que pueden resistir las estructuras calculadas, sólo para las sobrecargas muertas, vivas y de viento. En zonas donde son probables los terremotos, los depósitos, las torres y los cimientos deben cumplir los requisitos que les permitan resistir los daños causados por terremotos.

Hay tres tipos de depósitos para terremotos: (1) arriostrados, (2) elevados de tipo pedestal, y (3) apoyados en el suelo para depósitos de aspiración. Los depósitos elevados arriostrados se basan en un sistema de riostras para resistir las fuerzas laterales. Los depósitos de pedestal se basan en la acción de un eje que resiste las fuerzas de los terremotos. Los depósitos de aspiración se ven menos afectados por los terremotos que los elevados. No obstante, se deben anclar para resistir tal eventualidad. Las conexiones de las tuberías, sobre todo entre los depósitos de aspiración y las bombas, se deben proyectar de modo que resistan los terremotos.

#### 3.1.5.3 *Capacidad de los Depósitos*

Generalmente, es económico instalar los depósitos de gravedad con suficiente capacidad y altura para que puedan conectarse directamente al sistema de protección contra incendios, proporcionando alimentación suficiente, tanto a los hidrantes y a las mangueras de extinción, como a los sistemas automáticos de extinción.

Hace algunos años, dada la capacidad limitada y las pocas necesidades de presión, un depósito de gravedad con una capacidad mínima de  $110 \text{ m}^3$ , cuyo fondo estuviera por lo menos a 23 metros sobre el suelo, podía servir adecuadamente tanto a los hidrantes para las mangueras como a los sistemas de extinción. La elección del tipo de depósito está determinada todavía por la capacidad y presión necesaria tanto para las mangueras como para los rociadores, durante el tiempo que pueda durar un incendio, pero debido a las mayores necesidades de hoy día, un depósito de aspiración y una bomba es más económico que un depósito de gravedad con o sin bomba de refuerzo.

Los depósitos de gravedad y de aspiración se construyen generalmente de dimensiones normalizadas. La capacidad requerida se determina según el uso a que se destina. Normalmente, los depósitos elevados de acero con la base suspendida se instalan sobre torres de cuatro columnas cuando la capacidad varía entre  $190$  y  $750 \text{ m}^3$ , con seis columnas cuando la capacidad oscila entre  $750$  y  $1100 \text{ m}^3$  y con ocho columnas para los de capacidad superior a los  $1100 \text{ m}^3$ .

#### 3.1.5.4 *Construcción de los depósitos*

Los depósitos elevados se construyen generalmente de acero y se apoyan sobre torres de acero. Algunas veces se emplean torres de hormigón armado y también se pueden situar directamente encima de las estructuras a las que

se suministra agua. En algunos casos se ha empleado el hormigón para la construcción del depósito mismo.

### 3.1.6. Depósitos de tela cauchatada apoyados en terraplenes

Los depósitos de tela cauchatada apoyada en terraplenes (ESRF) pueden emplearse como depósitos de aspiración para la protección contra incendios. Existen depósitos de ESRF de dimensiones de 75, 190 y 380 m<sup>3</sup> y hasta de 3800 m<sup>3</sup>. Estos depósitos constan generalmente de un revestimiento interior del embalse y una cubierta integral. Están calculados para apoyarse en sus cuatro costados sobre taludes de tierra. El material con que se construyen estos depósitos es una tela de nylon recubierta con un compuesto elastómero que proporciona resistencia a la abrasión y a la intemperie. El depósito se apoya en los costados de una excavación, desmonte o zanja especialmente preparada para el efecto.

La preparación del terreno donde ha de instalarse el depósito de ESRF es esencial para que éste sea de confianza. El procedimiento normal es hacer una excavación poco profunda de las dimensiones aproximadas del fondo del depósito. La tierra excavada se dispone luego alrededor de la excavación para formar los terraplenes en que se apoyan los costados del depósito. A la parte exterior de las bermas se le da una pendiente para evacuar la lluvia y la nieve y a la parte interior se le da asimismo la pendiente necesaria para que coincida con el contorno del depósito, incluyendo las esquinas redondeadas. Las pendientes deben tener en cuenta la necesidad de hacer conexiones de fontanería al depósito. Los depósitos de ESRF pueden también instalarse totalmente enterrados con la cubierta a nivel del suelo o encima del terreno completamente apoyados en las bermas. Una vez hecha la excavación de acuerdo con las formas del depósito que se va a instalar, se coloca una tongada de 15 cm de altura de arena o tierra limpia sobre otra de 7,5 cm de altura de gravilla, lo que proporciona una base firme y con buen drenaje. Se colocan en su base y se hacen las conexiones (los depósitos se transportan a su emplazamiento totalmente contruidos). Una vez lleno, se aplica un material de recubrimiento sobre toda la superficie expuesta para protegerla contra la intemperie.

### 3.1.7. Depósitos a presión

Los depósitos a presión se emplean para los servicios privados de protección contra incendios de capacidad reducida, tales como los sistemas de rociadores, los sistemas de toma fija de agua y de mangueras y los sistemas de agua pulverizada. Se emplean, algunas veces, en conexión con bombas de incendio y depósitos de gravedad para obtener descargas rápidas. Estos depósitos se sitúan con la mayor elevación posible.

El depósito contiene normalmente  $\frac{2}{3}$  de su capacidad de agua. El aire, se mantiene a una presión mínima de 517 KPa. Al abandonar el depósito la última gota de agua, la presión residual del manómetro no debe ser inferior a cero, debiendo ser, además, suficiente para proporcionar una presión no inferior a 103 KPa en el punto de descarga más alto del sistema de extinción automático bajo cubierta principal del edificio.

El aire es suministrado por unos compresores capaces de entregar no menos de 0,045 m<sup>3</sup>/min. de aire para los depósitos que tengan una capacidad total de 28 m<sup>3</sup> y no menos de 0,057 m<sup>3</sup>/min. para las dimensiones mayores. Los compresores se sitúan en la caseta del depósito.



### 3.1.8. Instalaciones de aspiración, naturales y artificiales

Los sistemas de tuberías tienen ventajas que lo hacen preferibles como aprovisionamiento de agua para la protección contra incendios, pero existen situaciones en que otras fuentes de agua pueden estar disponibles más fácilmente o a menor coste.

Como ejemplo, pueden darse los grupos de edificaciones en zonas alejadas de las áreas urbanas. En muchas de estas localidades, sin embargo, existe agua disponible para la protección contra incendios en estado normal: el mar, lagos y lagunas, ríos y arroyos. Pueden emplearse aljibes o depósitos para almacenamiento de agua en lugares distantes de las fuentes naturales del agua o donde el agua no esté disponible. El agua para otros usos en cantidades relativamente grandes, por ejemplo la almacenada en depósitos para riego agrícola o para dar de beber al ganado, puede ser muy útil para la lucha contra el fuego, si los depósitos se mantienen llenos. Por el contrario, las pequeñas lagunas o estanques de los parques y las piscinas de natación, no son fuentes especialmente aptas para casos de emergencias por las dificultades que se plantean en la competencia de empleo respecto a sus usos regulares.

Para los recursos de agua mencionados anteriormente y otros parecidos, se ha venido empleando el término suministros por aspiración para distinguirlos de los sistemas públicos de abastecimiento de agua convencionales para la lucha contra incendios. En general, los suministros de agua estáticos por extracción por aspiración, deben aprovecharse donde se encuentren y en sus cercanías. Aunque ha habido casos en que se ha extraído agua de recursos suburbanos, agrícolas y forestales para alimentar mangueras de extinción a distancias bastantes largas, debe tenerse en cuenta que el tendido de largas líneas de mangueras empalmadas (de más de 300 metros) pocas veces permite proporcionar una buena protección, debido al tiempo necesario para tender estas líneas tan largas y a la dificultad de su manejo.

#### 3.1.8.1 *Cisternas y Depósitos Enterrados*

Cuando no exista ningún sistema de abastecimiento de agua ni hidrantes, uno de los modos de obtener la cantidad de agua necesaria para la lucha contra incendios, puede ser el empleo de cisternas o depósitos enterrados, situados cerca de los puntos donde normalmente haya hidrantes instalados. La autobomba del servicio de incendios puede extraer el agua por medio de una conexión al depósito o introduciendo una manguera de aspiración dentro de él. Dichos depósitos y cisternas se suelen llenar a través de recursos domésticos demasiado pequeños para el uso regular del servicio de bomberos. Así, el agua no tiene que cambiarse tan frecuentemente como para que se presenten dificultades.

Los recursos estáticos de agua son de valor evidente en las zonas suburbanas, agrícolas y forestales, pero también son importantes cuando se presentan situaciones de emergencia en las ciudades. Antes de que se crearan los sistemas actuales de abastecimiento de aguas, algunas ciudades disponían de reservas en cisternas o embalses para su protección contra el fuego. Cuando hacía falta emplear el agua para atacar algún incendio, sencillamente se introducía una manguera de aspiración por una trampilla de registro. Algunas de estas cisternas todavía están en uso.

### 3.1.8.2 *Ríos y Lagunas*

Los ríos y lagunas contienen recursos de agua auxiliares. El hecho de que el agua de estas fuentes esté a la vista no garantiza que pueda emplearse para la lucha contra el fuego. A menudo es necesario disponer de medios auxiliares de aproximación aptos para los vehículos de incendio, para que puedan acercarse a extraer el agua sin quedar empantanados. En la mayor parte de los casos bastará con dejar despejado el espacio y cubrirlo con tierra apisonada para tener buen acceso al suministro de agua. Estos recursos deben estudiarse para determinar si el agua está disponible en todas las estaciones y, cuando existan varias posibles vías de acceso, escoger la mejor y prepararla de modo que los vehículos no queden empantanados ni sea necesario emplear tuberías de aspiración demasiado largas así como prever otras posibles dificultades. Las situaciones deben quedar registradas y señaladas en los mapas. También se les ha de prestar una atención especial periódica, del mismo modo que se revisan los hidrantes para mantenerlos en buenas condiciones de empleo.

En tales puntos suele ser necesario disponer de un estanque o cisterna donde el agua fluya naturalmente y donde pueda instalarse un filtro para la bomba de aspiración. La cisterna o estanque de toma puede estar protegido por una pantalla, de modo que no se introduzcan objetos grandes que obstaculicen el funcionamiento del filtro de aspiración.

### 3.1.8.3 *Arroyos y Torrentes*

Cuando debe tomarse agua de un arroyo o de un torrente, es preferible hacer pasar el agua a un colector en lugar de extraerla directamente de la corriente. En el caso de recursos naturales de agua que tengan orillas pantanosas, puede ser deseable buscar en la corriente o laguna un pozo central desde donde el agua puede ser extraída y llevada por tubería a otro punto donde se recoja en otro pozo, que, preferiblemente, debe estar situado cerca de una carretera u otro lugar donde detener el vehículo de incendios.

En algunos pozos, particularmente en aguas al aire libre que se congelan en invierno, puede haber casos en los que resulte imposible instalar una cubierta protectora en la zona donde se haya de efectuar la extracción por aspiración. En tales sitios se puede anclar una boya que flote directamente en el punto donde debe introducirse el conducto de aspiración.

En algunas partes los arroyos no corren continuamente. En estos casos, puede construirse una cisterna de gran capacidad para ser llenada cuando haya corriente. De este modo, el agua puede conservarse durante más tiempo que si estuviera en un depósito abierto.

El agua de los arroyos y lagunas tiene más importancia en las regiones donde no existen sistemas públicos de abastecimiento de agua, que en las ciudades. Existen pequeños grupos de edificaciones agrícolas o pequeñas aldeas donde cualquier torrente represado, con una vía de acceso para una autobomba y un pozo donde se puede tomar el agua por aspiración, pueden representar un magnífico nivel de protección contra el fuego a muy bajo coste.

### 3.1.8.4 *Puertos y Ríos*

El principal problema al emplear puertos y ríos como suministro por aspiración es que sus niveles de agua varían. En los puertos, las mareas

oceánicas hacen variar su nivel entre sus límites máximos y mínimos en un período de 24 horas. El nivel del agua de los ríos varía según la estación, pero el problema es de la misma naturaleza que el que presentan las mareas. Cuando la fluctuación del nivel de una fuente natural de agua es pequeña, puede bastar, para que las autobombas extraigan el agua, una simple plataforma o muelle. Una vez llevada la autobomba hasta el muelle, puede entrar en acción simplemente la manguera de aspiración al agua. Pero, en los casos en que la fluctuación del nivel del agua es importante, como ocurre con las mareas en algunas costas, se necesitan dispositivos especiales. En los lugares en donde el agua tenga siempre suficiente profundidad, es factible la instalación de una rampa artificial que conduzca a una gran balsa. Pero las orillas de los mares de mareas muy fluctuantes están, a menudo, en forma de playa, donde el agua retrocede a considerable distancia para que sea siempre accesible. Una solución a este problema es la formación de estanques que se llenan con la marea alta.

Cuando exista un puente que atraviese las aguas sometidas a mareas, aquéllas se pueden captar por medio de una instalación permanente compuesta de una bomba de las utilizadas para pozos profundos y una tubería que descargue el agua en un punto adecuado para acoplar una autobomba del servicio de bomberos. El método más práctico de aprovechar el agua de mares sometidos a mareas es de bombas instaladas en embarcaciones, como suplemento de las lanchas de incendios que tenga el servicio de bomberos como equipo regular. De esta forma, pueden obtenerse cantidades relativamente grandes de agua de ríos y puertos, porque las lanchas de incendios suelen estar provistas de bombas de gran potencia. Cuando no existan lanchas de incendios, pueden instalarse bombas de gran capacidad en alguna embarcación o barcaza que pueda ponerse en servicio, cuando sea necesario, para combatir incendios. Para que esta agua sea aprovechable en tierra, es necesario disponer de una instalación en la que pueda atracar la lancha de incendios, o la barcaza con bombas, y descargar el agua en un depósito o en un sistema especial de tuberías con hidrantes donde el equipo de bombeo terrestre pueda tomar agua.

#### 3.1.8.5 Pozos

Cada vez es más frecuente el empleo de agua de pozos, tanto para usos domésticos como para suministro a sistemas contra incendios en zonas industriales, centros comerciales, etc., que se encuentran situadas fuera de redes de tuberías de abastecimiento de agua. Antes de construir un pozo, debe efectuarse un examen exhaustivo del agua subterránea. Este examen generalmente incluye un análisis de las posibilidades del acuífero y una revisión de la historia de los pozos cercanos. La reserva de agua subterránea debe ser de capacidad suficiente para asegurar el suministro y una calidad razonablemente buena.

Para extraer el agua del pozo y pasarla al sistema contra incendios o a un depósito de almacenamiento se emplea una bomba de turbina de eje vertical.

### 3.2 Bombas empleadas en sistemas contra incendio.

Las bombas de incendios se emplean frecuentemente para complementar la aportación de los sistemas de conducción públicos, depósitos de gravedad, embalses, depósitos a presión u otras fuentes.

#### 3.2.1. Generalidades

Las primeras bombas modernas de incendio eran a la vez aspirantes e impelentes, de rueda y manivela, movidas por una correa de transmisión conectada a algún tipo de maquinaria industrial. Si el funcionamiento de la fábrica se detenía durante un incendio, la bomba quedaba fuera de servicio. En el mejor de los casos, este tipo de protección era inadecuado.

Al extenderse el empleo de la protección por medio de rociadores automáticos, se necesitó al mismo tiempo mejorar el sistema de suministro de agua, y el tipo de bombas antes descrito fue sustituido por bombas rotativas de desplazamiento movidas por una transmisión por fricción de ruedas hidráulicas horizontales que suministran energía a la planta. Al quedar sustituida la fuerza hidráulica por el vapor, se adoptaron las bombas alternativas (aspirantes e impelentes), para el suministro de agua para protección contra incendios.

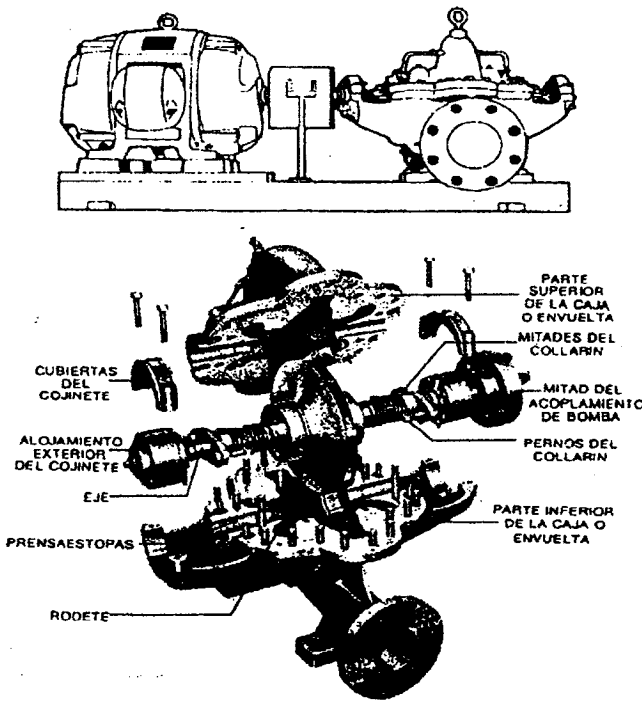


Figura 3.1

Bomba de incendios centrífuga de una sola etapa, de eje horizontal con vista seleccionada de la bomba (Peerless Pump).

Hoy día la bomba de incendios normal es centrífuga (ver Figuras 3.1 y 3.2). Su solidez, fiabilidad, fácil mantenimiento y características hidráulicas, así como la variedad de formas de accionamiento (motores eléctricos, turbinas de vapor y motores de combustión interna) han dejado a las demás anticuadas, aunque no totalmente extinguidas. Una característica destacable de las bombas centrífugas, verticales u horizontales, es la relación entre el caudal y la presión (altura de

impulsión) a la velocidad constante, en el sentido de que al aumentar la presión se reduce el caudal. Sin embargo, las bombas de desplazamiento pueden mantener su capacidad nominal a cualquier presión si la potencia es adecuada para hacer funcionar la bomba a la velocidad nominal y si la bomba, los acoplamientos y las tuberías pueden soportar la presión.

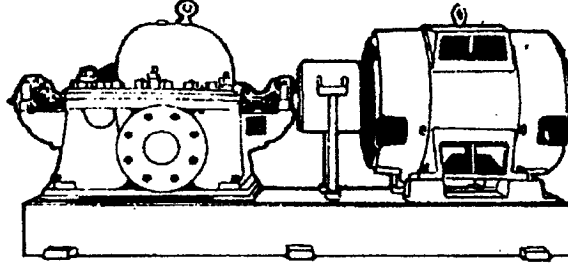


Figura 3.2

Bomba centrífuga horizontal de etapa múltiple. La carcasa contiene más de un rodete (Peerless Pump).

Existen bombas de incendios verticales y horizontales de tipo aprobado, con capacidades nominales de hasta 5000 galones por minuto (GPM) ( $19 \text{ m}^3/\text{minuto}$ ). Las presiones nominales varían desde 40 a 200 libras/pulg<sup>2</sup> (psi) ( $2,8$  a  $14 \text{ kg/cm}^2$ ) en las horizontales, y entre 75 y 280 libras/pulg<sup>2</sup> ( $5,3$  a  $19,7 \text{ kg/cm}^2$ ) en las verticales de turbina. En el futuro se espera disponer de bombas de incendios de mayor capacidad.

### 3.2.2. Principios de funcionamiento

Los dos componentes principales de las bombas centrífugas son el disco llamado impulsor o rodete y la envuelta o caja dentro de la que gira (Figura 3.3). El principio del funcionamiento es la conversión de la energía cinética en energía de velocidad y de presión. La energía del motor (eléctrico, de combustión interna o turbina de vapor) se transmite directamente a la bomba por su eje, haciendo girar al rodete a gran velocidad. Los pasos de la conversión de energía varían según el tipo de bomba. Los tres tipos principales se conocen como de flujo radical, de flujo mixto y de flujo axial o propulsor; estas bombas se identifican por la dirección del flujo a través del rodete con referencia al eje de rotación (véanse las Figuras 3.3 y 3.4).

La bomba centrífuga con difusor de caracol, de doble aspiración, de una sola etapa y eje horizontal (Figura 3.1) es el tipo más comúnmente empleado por el servicio de protección contra incendios o para uso comercial. En estas bombas, el flujo del agua tras entrar por el orificio de aspiración y pasar al interior de la caja se divide y entra por ambos lados del rodete a través de una abertura llamada "Ojo" de la bomba. La rotación del rodete conduce el agua por fuerza centrífuga desde el "ojo" hacia el borde y a través del caracol hasta el orificio de descarga. La energía cinética adquirida por el agua en su paso a través del rodete se convierte en energía de presión por la reducción gradual de la velocidad en el interior del caracol.

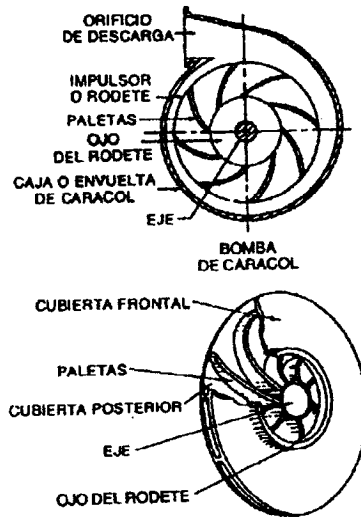


Figura 3.3  
Bomba centrífuga horizontal de etapa múltiple. La carcasa contiene más de un rodete (Peerless Pump).

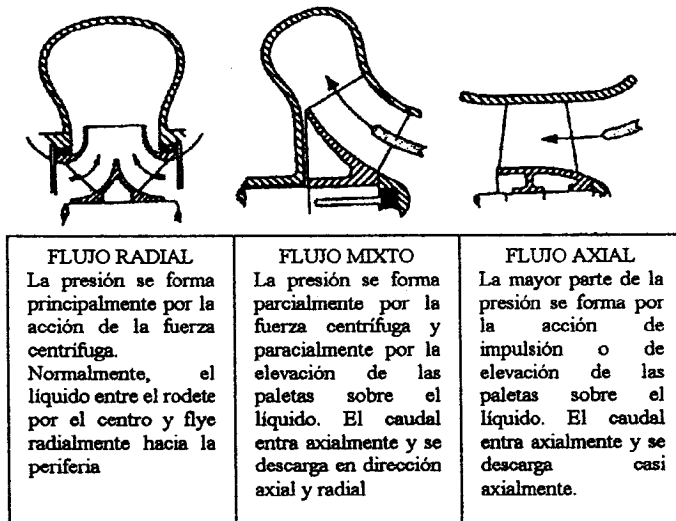


Figura 3.4  
Tres clases principales de bombas de incendios.

### 3.2.3. Bombas de varias etapas

Para obtener mayores presiones, pueden montarse dos o más rodets, con sus respectivas cajas envueltas, unidos a un mismo eje como una sola unidad, formando una bomba de varias etapas. La descarga de la primera etapa es aspirada por la segunda; la descarga de la segunda, por la tercera, y así sucesivamente. La capacidad

de la bomba es el caudal que puede mover una etapa; la presión es la suma de las presiones de cada una de las etapas, menos una pequeña pérdida de carga.

### 3.2.4. Bombas de alta presión

Se puede aumentar la presión de servicio de las bombas de una etapa aumentando el diámetro del rodete o su velocidad. Ambos métodos ofrecen ciertas desventajas: las bombas de gran diámetro pueden ser menos eficientes, y las de alta velocidad no son fáciles de acoplar al motor.

### 3.2.5. Curvas características

Las curvas características (véase la Figura 3.5) de las bombas centrífugas horizontales o de las verticales de turbina se componen de:

- Altura piezométrica total frente a descarga a curvas de presión-caudal (pies de altura o libras por pulgada cuadrada de presión, galones por minuto) (metros o  $\text{kg/cm}^2$  frente a litros/minuto).
- Potencia efectiva frente a descarga (potencia en caballos de vapor frente a galones por minuto).
- Rendimiento frente a descarga (potencia útil / potencia empleada, frente a galones por minuto).

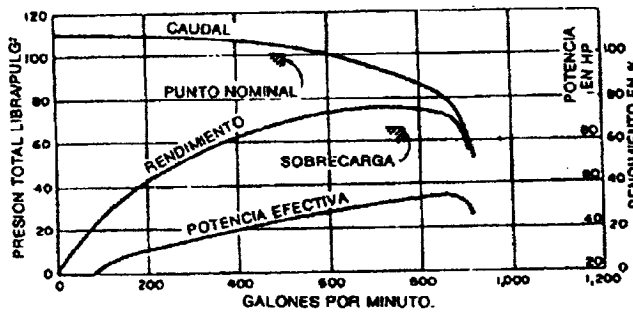


Figura 3.5

Curvas características típicas de bombas de incendios. Las curvas que se muestran corresponden a una bomba movida con motor de gasolina, a 2000 r.p.m., 100 libras/pulg<sup>2</sup> y 500 g.p.m. (2.000 r.p.m., 7  $\text{kg/cm}^2$  y 114  $\text{m}^3/\text{h}$ ) con rodete de 14 pulg (36cm) y una elevación de aspiración máxima de 6,4 pies (1,95 m). Nótese que la presión a caudal cero es de 110 libras/pulg<sup>2</sup> (7,7  $\text{kg/cm}^2$ ), la potencia máxima efectiva es de 55 HP y el máximo rendimiento se consigue al 75 % de la presión nominal y al 150 % de la capacidad nominal, a la velocidad nominal.

Estas curvas suponen que la bomba funciona a una velocidad constante igual a las revoluciones por minuto nominales. En la realidad, sin embargo, la velocidad del motor puede variar al cambiar la carga.

Los valores nominales de caudal y presión de las bombas comerciales se establecen usualmente sobre la base de su máximo rendimiento y velocidad deseable. Los

rodetes o impulsores pueden calcularse para características de presión-caudal bajas, medias o muy altas, según lo requieran los distintos usos. La Figura 3.6 ilustra cómo la curva de presión-caudal resulta afectada por el diámetro del "ojo", el diámetro del impulsor, el número de paletas y la forma o ángulo de éstas.

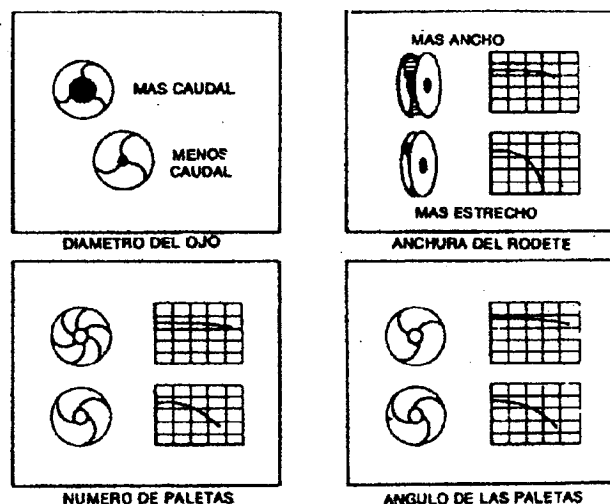


Figura 3.6  
Efectos de la forma del rodetes sobre las curvas de presión-caudal.

### 3.2.6. Altura de elevación total

La altura de elevación o presión total suministrada por una bomba es la energía transmitida al líquido al pasar por la misma. Puede expresarse en distintas unidades de presión, pero para los fines de protección contra incendios se da generalmente libras por pulgada cuadrada ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) o en pies (m) medidos verticalmente (altura piezométrica). La presión total se calcula restando la energía del líquido al entrar de la energía del líquido que sale. Por lo tanto, la altura de elevación total (H) de la bomba se calcula por esta fórmula:

$$H = h_d + h_{vd} - h_s - h_{vs}$$

en donde:

H = altura total, en pies (m).

$h_d$  = altura de impulsión, en pies (m).

$h_{vd} = V_d^2/2g$  altura de velocidad de descarga, altura cinética en pies (m).

$h_s$  = altura de aspiración, en pies (m).

$h_{vs} = V_s^2/2g$  altura de cinética de aspiración, en pies (m).

v = velocidad media en pies por segundo (m/s).

g = aceleración de la gravedad;  $32,2 \text{ pies}/\text{s}^2$  ( $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ ).

En las bombas horizontales de envuelta partida, las presiones individuales se miden en la brida de la boquilla de descarga y en la brida del conducto de aspiración (véase la Figura 3.7). Los valores de las presiones se leen en los manómetros acoplados a las bridas o aletas de entrada y salida. La altura cinética (presión debida a la



velocidad), debe calcularse en base al volumen de líquido que pasa por las secciones de las bridas.

$$h_v = V^2/2g$$

donde:

$V$  = velocidad media,  $g$  = aceleración de la gravedad.

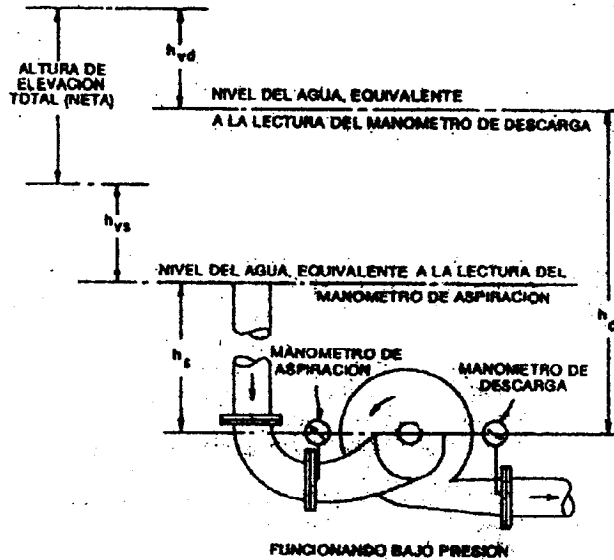


Figura 3.7

Altura de elevación típica de una bomba de incendios centrífuga horizontal.

Si las bridas tienen el mismo diámetro, no habrá diferencia entre la velocidad de entrada y la de salida, y no será necesario hacer el cálculo.

En las bombas verticales de turbina, la altura de impulsión debería obtenerse teóricamente en la brida de descarga de la bomba como esta sección generalmente es inaccesible para obtener lecturas del manómetro, se pone el manómetro en el acoplamiento de salida en la parte superior del tubo de la columna de la bomba (véase la Figura 3.8). La presión en la brida de descarga de la bomba, es por lo tanto, igual a la presión en el manómetro, más el efecto de presión debido a la distancia vertical entre los dos puntos, más la pérdida por fricción que se produzca entre los dos puntos. En la mayoría de los casos, la pérdida por fricción es tan pequeña que puede ignorarse.

La altura de aspiración, es la distancia vertical desde el nivel del agua hasta la brida de descarga de la bomba. La altura cinética, o presión de velocidad del líquido entrante, se supone que es cero. Por lo tanto, la fórmula se convierte en la siguiente:

$$H = h_d + h_{vd} - h_s = (h_{gd} + L) + h_{vd} - h_s$$

en la que:

$h_g$  = lectura del manómetro de descarga, en pies (m),  
 $L$  = distancia del manómetro a la brida de la bomba, en pies (m), y  
 $H$  = distancia del manómetro al nivel del líquido, en pies (m).

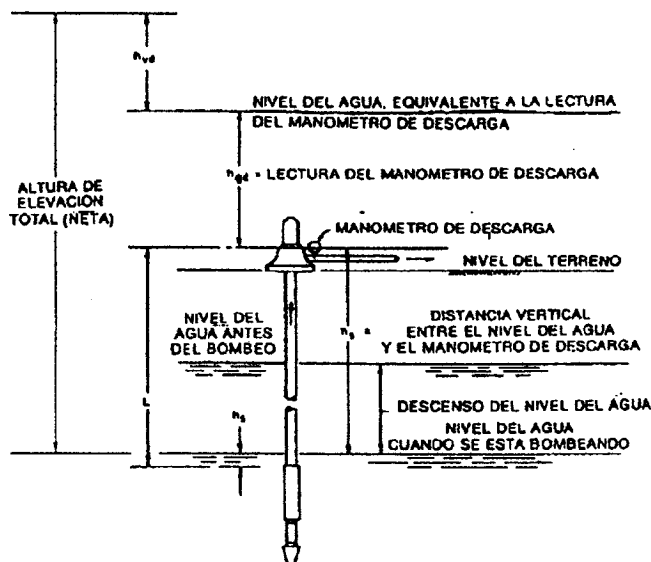


Figura 3.8

Altura de elevación total de las bombas de incendios verticales de turbina

Sin embargo,  $L - h_g = h$  = distancia vertical entre el manómetro de descarga y el nivel del agua. Por lo tanto, la fórmula se convierte en:

$$H = h_{gd} + h_{vd} + h$$

Las pérdidas hidráulicas y de potencia que se producen en el interior de la bomba (turbulencia, fricción del disco, impacto, etc.) vienen representadas por el coeficiente de rendimiento.

La altura de elevación (presión) total a la capacidad nominal sirve para establecer la presión nominal de una bomba. Realmente, la presión nominal es la cantidad de energía que se transfiere al agua.

La altura de elevación total de una bomba vertical de turbina puede también definirse como la dimensión vertical, de agua a agua, del sistema en que la bomba opera. Sin embargo, existe una diferencia en el método para medir la altura total. Como se indica en la Figura 3.8, es la suma de la distancia vertical entre el nivel del agua en el pozo y el manómetro, más la altura de impulsión indicada por el manómetro situado en el orificio de salida de la bomba, y más altura cinética en la conexión del manómetro.

### 3.2.7. Velocidad específica ( $N_s$ )

La velocidad específica es un número que combina, para fines de cálculo, la presión, el caudal y la velocidad de las bombas centrífugas. Realmente, la velocidad específica de una bomba es igual al número de revoluciones por minuto de un rodete

geométricamente semejante que descargue un galón por minuto con una altura total de un pie. La fórmula para el cálculo de la velocidad específica de una bomba centrífuga es:

$$N_s = \frac{\text{rpm} \times \text{GPM}^{1/2}}{H^{3/4}}$$

en donde:

Ns = número correspondiente a la velocidad específica, y

H = altura en pies (m).

Cuando los valores de la altura o presión, velocidad y caudal de la fórmula corresponden al trabajo de la bomba a rendimiento óptimo, la velocidad específica es un índice para el tipo de bomba. Los rodets para altas presiones generalmente tienen velocidades específicas bajas, mientras que de bajas presiones tiene velocidades específicas altas.

Las bombas de baja velocidad específica funcionan más satisfactoriamente con mayores alturas de aspiración que las bombas de igual presión y capacidad pero de mayor velocidad específica. La experiencia demuestra que la velocidad específica es una guía útil para determinar la altura máxima de aspiración o la presión mínima de aspiración.

Cuando la altura de aspiración excede de 15 pies (4,6 m), pudiera ser necesario disponer de una bomba mayor pero de menor velocidad. Cuando la altura de aspiración es baja o existe presión positiva de aspiración, puede emplearse una bomba más pequeña pero de mayor velocidad. Las alturas de aspiración normalmente altas pueden reducir sensiblemente la capacidad de la bomba y su rendimiento o causar cavitaciones y vibraciones excesivas.

### 3.2.8. Carga de aspiración positiva neta

La presión de aspiración positiva neta (*Net Positive Suction Head*) o abreviadamente NPSH es la presión que hace que el líquido fluya a través de la tubería de aspiración hacia el "ojo" del rodete de la bomba. La bomba por sí misma no es capaz de elevar el agua y por ello la presión de aspiración depende de la naturaleza del abastecimiento.

Si la bomba toma agua de una laguna, corriente, pozo abierto o estanque en que el nivel del agua está por debajo de la bomba, la presión de aspiración es la atmósfera menos la altura de elevación de la bomba. Si el nivel del agua estuviera por encima de la bomba, como puede suceder en una conducción de agua, un canal, un depósito elevado, etc. la presión de aspiración es la atmósfera más la presión estática.

Las lecturas de la presión en la brida de entrada a una bomba con elevación, son negativas respecto al manómetro, pero positivas cuando se refieren a la presión absoluta; de aquí viene la expresión presión de aspiración positiva neta (la presión absoluta es la del manómetro más la barométrica).

Hay que considerar dos clases de presiones de aspiración positivas netas. La presión de aspiración positiva neta de la bomba está en función del tipo de la propia bomba.

Varía según la capacidad, velocidad y conformación de las diferentes bombas. Los fabricantes de bombas generalmente suministran con sus productos las curvas de NPSH frente a galones por minuto (véase la Figura 3.9). La presión de aspiración positiva neta disponible está en función del sistema en que la bomba opere, y es fácilmente calculable.

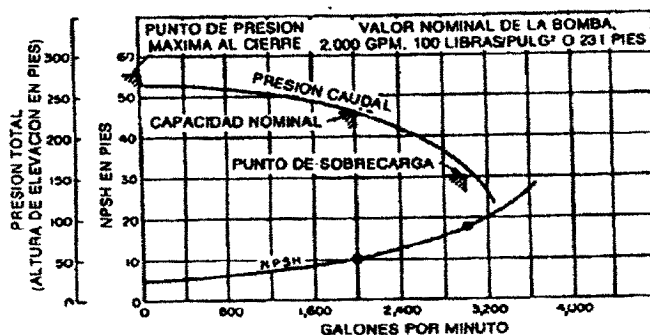


Figura 3.9

Curva de presión de aspiración positiva neta (NPSH) de una bomba de incendios típica. Nótese que la NPSH requerida a 2000gpm es 10 pies y a 3000gpm, 18 pies (3m a 454 m<sup>3</sup>/hora y 5.5m a 681 m<sup>3</sup>/hora).

Cuando el agua se encuentra por encima de la bomba, la presión de aspiración positiva neta disponible = presión atmosférica, en pies (m) + presión estática de aspiración, en pies (m) — pérdidas por fricción producidas en la tubería y acoplamientos de aspiración, en pies (m) — presión de vapor del líquido, en pies (m) (Nota: la presión de vapor del agua a 90° F es 1,6 pies, o 0,488 m a 33° C).

Cuando el nivel de agua está por debajo de la bomba la NPSH disponible = presión atmosférica, en pies (m) - altura estática, en pies (m) - pérdidas por fricción en la tubería y pérdidas de carga en los acopiamientos, en pies (m) - presión de vapor del líquido, en pies (m).

En cualquier instalación de bombeo, la NPSH disponible en el sistema debe ser igual o mayor a la NPSH de la bomba a las condiciones de funcionamiento deseadas.

### 3.2.9. Cavitación

La cavitación es un fenómeno complejo que puede ocurrir en las bombas o en cualquier otro equipo hidráulico. En las bombas centrífugas, el flujo del líquido a través de la tubería de aspiración y su entrada en el "ojo" del rodete, originan que la velocidad aumente y la presión disminuya. Si la presión desciende debajo de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, se forman burbujas de vapor. Cuando las burbujas de vapor contenidas en el líquido circulante llegan a una zona de mayor presión, se rompen produciendo un efecto como de golpe de ariete que causa ruido y vibración. Las pruebas han demostrado que en estas circunstancias, se pueden formar presiones instantáneas extremadamente altas que producen el picado de varias partes internas de la bomba y del rodete.

La condición resultante puede ser de mayor o menor gravedad. En ocasiones se produce una cavitación moderada sin que se alcance mucho ruido. La cavitación más grave puede producir la reducción del rendimiento e incluso la avería de la bomba, si no se toman las medidas adecuadas para eliminar la causa.

### 3.2.10. Leyes de afinidad o semejanza

Las relaciones matemáticas entre presión o altura, caudal, potencia efectiva y diámetro del rodete se llaman leyes de afinidad. En la Ley 1 se supone un diámetro del rodete constante, con variaciones de la velocidad. En la Ley 2 se supone una velocidad constante con variaciones en el diámetro del rodete. Estas leyes se expresan por medio de proporciones, de la siguiente forma:

Ley 1

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} \quad \frac{bhp_1}{bhp_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$$

Ley 2

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad \frac{bhp_1}{bhp_2} = \frac{D_1^3}{D_2^3}$$

Donde:

Q = caudal;  
H = altura o presión;  
N = velocidad;  
D = diámetro del rodete, y  
bhp = potencia efectiva.

Así

$Q_1 = \text{Caudal a}$	$Q_2 = \text{Caudal a}$
$N_1 \text{ o con } D_1$	$N_2 \text{ o con } D_2$
$H_1 = \text{Altura a}$	$H_2 = \text{Altura a}$
$N_1 \text{ o con } D_1$	$N_2 \text{ o con } D_2$
$bhp_1 = \text{Potencia efectiva}$	$Bhp_2 = \text{Potencia efectiva}$
a $N_1$ o con $D_1$	a $N_2$ o con $D_2$

La ley 1 es aplicable a las bombas de tipo común, incluyendo las centrífugas horizontales y las verticales de turbina para incendios. La ley 2 se aplica a las bombas centrífugas que tengan una coincidencia muy ajustada entre las características calculadas y las demostradas en pruebas. Generalmente, las bombas con velocidades específicas bajas muestran mayor coincidencia que las bombas con velocidades específicas altas.

Deben aplicarse las leyes de afinidad cuando se pretenda realizar cambios en la instalación de una bomba de incendios que aumentarían la velocidad o incrementarían sustancialmente la presión del líquido aspirado. La mayor velocidad aumentaría la demanda de potencia y podría originar excesiva presión de descarga. En algunos casos, es posible ajustar el rodete o instalar un engranaje de reducción de velocidad entre la bomba y el motor, aunque ello no debe hacerse sin la

aprobación del fabricante de la bomba. Cuando se trate de bombas que trabajan con altura de aspiración, los posibles cambios de sus características deben estudiarse cuidadosamente, ya que una mayor velocidad en la tubería de aspiración podría causar cavitaciones y alterar fundamentalmente la curva característica.

### 3.2.11. Aprobación y certificación de las bombas de incendios

Las normas de la NFPA y UNE para el proyecto e instalación de los diversos sistemas de protección contra incendios recomiendan el empleo de equipo aprobado y certificado, incluyendo las bombas de incendios en las instalaciones que las necesiten.

De acuerdo con ello, el fabricante está obligado a entregar una bomba certificada o aprobada y ensayada en la fábrica, que cumpla satisfactoriamente, una vez instalada, con la Norma para bombas de incendios de la NFPA o UNE. El contratista o instalador es responsable de la instalación de la combinación bomba-motor, de acuerdo con las provisiones de dichas Normas, mientras, que es obligación del usuario suministrar los datos correspondientes al motor de la bomba, alimentación de energía, suministro de agua, emplazamiento, etc.

Las bombas de incendios están calculadas para que ofrezcan la máxima fiabilidad y cumplan características de presión neta-caudal. Excepto durante las inspecciones y pruebas periódicas, las bombas de incendios están inactivas la mayor parte del tiempo. Por otra parte, las bombas de uso comercial se seleccionan en base a su máximo rendimiento y economía de trabajo.

Para obtener la certificación oficial de una bomba nueva el fabricante somete sus planos y condiciones técnicas al estudio y observación de un organismo de pruebas reconocido. Después que se hayan puesto de acuerdo sobre las revisiones o correcciones que puedan ser pertinentes, es necesario que los representantes de los organismos de ensayo presencien las pruebas necesarias para la aprobación en las instalaciones del fabricante. Si los resultados son satisfactorios el nuevo modelo de bomba se incluye en las listas certificadas en la forma acostumbrada, o imponiéndose cualquier restricción que se considere oportuna. Es deber del fabricante probar todas las unidades entregadas e incluir con ellas gráficos certificados indicando las curvas de presión, de rendimiento y de potencia efectiva frente a caudales. Aunque generalmente no se incluye, la curva de NPSH de la bomba debe suministrarse a petición del fabricante.

Muchas de las bombas de incendio certificadas que están en uso hoy día son unidades comerciales de la máxima calidad. Estas bombas pueden ser mejoradas cuando sea necesario, así como ajustadas o acondicionadas para que cumplan con todos los requisitos exigibles para los servicios de protección contra incendios.

### 3.2.12. Curvas normalizadas de presión-caudal

La forma de la curva normalizada de presión caudal de una bomba de incendios se determina por medio de tres puntos extremos, como sigue:

### 3.2.12.1 Caudal cero

Estando la bomba funcionando a la velocidad nominal, y cerrada la válvula de descarga, la presión total de una bomba centrífuga horizontal no debe exceder del 120 % de la presión nominal al 100 % de capacidad. En las bombas verticales la presión total con caudal cero no debe exceder del 140 % de la presión nominal al 100 % de capacidad.

El punto de caudal cero representa la máxima presión total permisible; de otro modo, la bomba tendría una curva característica ascendente o convexa. Este tipo de bombas no se certifica. Con una curva convexa podría haber dos puntos de caudal distintos para una misma presión.

### 3.2.12.2 Valor nominal

La curva debe pasar a través o por encima del punto de capacidad y presión nominales (véase la Figura 3.10).

### 3.2.12.3 Sobrecarga

Al 150% de la capacidad nominal la presión total no debe ser inferior al 65% de la presión nominal. En este caso, también la curva debe pasar a través o por encima del punto de sobrecarga. La mayoría de las bombas de incendios modernas presentan curvas con un margen importante por encima del punto teórico de sobrecarga. Algunos modelos tienen un punto de cavitación o de rotura en la curva, exactamente después de sobrecarga.

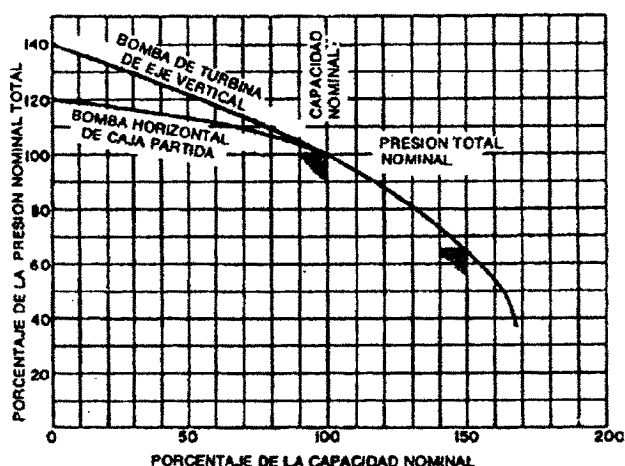


Figura 3.10

Curvas normalizadas de presión-caudal para bombas de incendios horizontales y verticales.

### 3.2.13. Bombas de incendios centrífugas de eje horizontal

Las bombas de incendios de eje horizontal deben instalarse de forma que funcionen con presión de aspiración positiva, especialmente con arranque automático o manual a distancia. Si la fuente de suministro de agua fuera de tales características que no pudiera evitarse la aspiración por elevación debe considerarse la posibilidad de instalar bombas de incendios verticales de tipo de turbina.

### 3.2.14. Instalaciones de aspiración

Cuando se tome el agua de arroyos, lagunas u otros medios de agua al aire libre debe disponerse de tomas con filtros para impedir que los peces, materias extrañas, etc., entren en la bomba y, por consiguiente, en el sistema de alimentación de protección contra el fuego. En cada toma de aspiración debe colocarse una válvula de pie de tipo adecuado (véase la Figura 3.11).

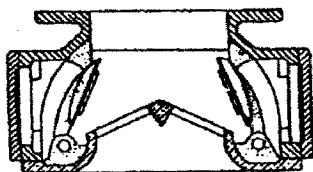


Figura 3.11

Una válvula de pie típica, bien diseñada, en posición abierta.

Debe evitarse el empleo de agua no potable cuando las bombas descarguen en un sistema que esté a su vez conectado a las conducciones del servicio público de aguas o a otros abastecimientos potables. De lo contrario, habría conexiones cruzadas, que están prohibidas, en algunas localidades solamente restringidas, por las autoridades de sanidad o los servicios de abastecimiento de aguas en la mayoría de los países. Se recomienda que las bombas de incendios tomen el agua de depósitos cubiertos no subterráneos de agua potable.

El volumen del abastecimiento para toma por aspiración debe ser suficiente para alimentar la bomba en régimen de sobrecarga durante el tiempo estimado de demanda de agua.

### 3.2.15. Bombas de refuerzo

Se trata de bombas de incendios que toman agua por aspiración de conducciones públicas, sistemas industriales o canales de presas (en sentido mecánico, todas las bombas son de refuerzo). Con anterioridad a la instalación, por medio de pruebas se obtiene el caudal de incendios disponible en la zona. Se calculan la capacidad total de la bomba en sobrecarga más el caudal probable que puedan extraer las bombas de servicio de bomberos de los hidrantes situados en la zona, sin que se reduzca la presión de las conducciones de agua por debajo de 20 libras/pulg<sup>2</sup> (1,4 kg/cm<sup>2</sup>). La presión nominal de la bomba debe ser suficiente para vencer toda la pérdida por fricción en las tuberías y conexiones, y atender también la demanda de presión.

### 3.2.16. Complementos y accesorios de las bombas

Los elementos auxiliares son indispensables para el funcionamiento completo de las bombas que suministran agua para la protección contra incendios, y su provisión u omisión no debe nunca decidirse solamente por razones de coste:

#### 3.2.16.1 *Válvulas de seguridad:*

Son necesarias en la descarga de la bomba por si se produjeran presiones excesivas durante su funcionamiento. Las bombas con motor de velocidad



regulable necesitan válvulas de seguridad, así como aquellas cuya presión de aspiración más la presión de cierre (caudal cero) exceda de la presión nominal del equipo de protección al que estén conectadas.

### 3.2.16.2 *Válvulas de manguera:*

Se emplean válvulas para mangueras de 2 ½ pulgadas de tipo homologado para probar las bombas, y para la lucha contra el fuego a base de chorros de extinción procedentes de mangueras. Las válvulas se montan a un cabezal o colector múltiple fuera de la sala de bombas, o colocadas de otra manera para evitar que la bomba, el motor y los mandos se vean afectados por el agua. El número de válvulas necesarias depende de la capacidad de la bomba.

### 3.2.16.3 *Válvulas automáticas de escape de aire:*

Son necesarias en la parte superior de la caja de las bombas con mando automático o a distancia. Para las bombas que se ponen en marcha solamente por medios manuales accionados dentro de la propia sala de bombas, un grupo de sombrilla puede ser suficiente. No obstante, es deseable disponer una salida de aire automática en todas las bombas que tienen la caja normalmente llena de agua.

### 3.2.16.4 *Válvulas de seguridad de circulación:*

Son necesarias en las bombas que se ponen en marcha automáticamente o por mandos a distancia. Su función consiste en abrirse a presiones ligeramente superiores a las nominales cuando el caudal es nulo o pequeño, de modo que se descargue suficiente agua para impedir el recalentamiento de la bomba. Estas válvulas no son necesarias en las bombas accionadas por motor cuya agua de refrigeración se toma de la descarga de la bomba.

## 3.2.17. Capacidad y presión nominal de las bombas de incendios

Los valores de capacidad y presión nominales de las bombas de incendios deben ser los adecuados para satisfacer las demandas de caudal y presión correspondientes a la instalación de que se trate. Las bombas de incendio están calculadas para ofrecer su capacidad nominal, incluyendo un factor de seguridad (150% de la capacidad nominal a por lo menos 65% de la presión nominal) que proporciona cierta protección en caso de que se presente una demanda superior a la prevista durante un incendio.

## 3.2.18. Potencia de las bombas de incendios

Antes de acoplar a la bomba un motor o medio impulsor es necesario conocer la demanda máxima de potencia efectiva de la bomba a su velocidad nominal. Esto puede determinarse directamente a partir de la curva de potencia suministrada por el fabricante de la bomba. Las bombas de incendios típicas alcanzan su máxima potencia efectiva entre el 140 y el 170% de su capacidad nominal.

La potencia puede calcularse, de no haber curvas disponibles, por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{bhp} = \frac{5.83 \text{ Q P E}}{10000} \quad \text{o} \quad \text{bhp} = \frac{5.83 \text{ Q P E}}{1710}$$

donde:

bhp = potencia efectiva

Q = Caudal en galones por minuto

P = Presión neta o altura de elevación total en libras/pulg<sup>2</sup>

E = Rendimiento =  $\frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia empleada}}$

El rendimiento a la máxima potencia efectiva, es usualmente del 60 al 75%.

En unidades métricas, la fórmula anterior se convierte en:

$$\text{bhp} = \frac{QPE}{27}$$

donde:

P = presión, en kg/cm<sup>2</sup>

Q = caudal en m<sup>3</sup>/h

bhp = potencia efectiva en caballos métricos

### 3.2.19. Fuerza motriz para bombas de Incendios

El tipo de energía necesaria para accionar las bombas de incendios se escoge con base en su fiabilidad, adecuación, economía y seguridad. La fiabilidad del suministro de energía eléctrica de la red pública puede juzgarse por medio del historial de interrupciones del servicio, o mediante una revisión de las fuentes de abastecimiento y de la red de distribución del sistema en cuestión.

Muchas plantas industriales generan su propia energía eléctrica por medios hidráulicos o de vapor, o ambos. Posiblemente también podría aprovecharse como recurso de reserva la energía eléctrica del servicio público.

Los motores de combustión interna tienen la ventaja de que no dependen de un suministro continuo exterior.

### 3.2.20. Pruebas de recepción sobre el terreno

Después que ha quedado instalada una bomba nueva, es práctica general realizar pruebas de funcionamiento. De este modo pueden descubrirse los defectos que pudiera tener y darse los pasos necesarios para corregirlos. Estas pruebas permiten al comprador determinar que el contrato ha quedado perfectamente cumplido. También demuestran la necesidad de realizar pruebas de mantenimiento futuras.

Tales pruebas demuestran la adecuación de la aspiración de la bomba y su capacidad para suministrar agua de acuerdo con su curva de presión caudal. El motor principal se hace funcionar en diferentes condiciones y se anotan los resultados. Existen disposiciones diferentes para motores eléctricos, turbinas de vapor y motores de combustión interna. Se necesita hacer funcionar repetidamente el grupo de mando para garantizar que la unidad actuará a pleno rendimiento, tanto por medio de los mandos automáticos como de los manuales.

Se hacen pruebas de caudal para obtener la curva característica de presión-descarga de la bomba. Esto se realiza haciendo funcionar la bomba a cinco o seis caudales diferentes, incluyendo una prueba con la llave de paso cerrada para que no haya flujo de agua (presión de cierre o caudal cero). La cifra correspondiente a cada

caudal se determina por medio de un medidor de Pitot colocado en las bocas de salida (preferiblemente tubos de prueba normalizados de 30 pulgadas), unidas a las líneas de manguera desde un cabezal de válvula exterior. La descarga se varía cambiando el número de líneas o el diámetro de las boquillas de las lanzas, o ambas cosas.

Para cada caudal distinto, se toman medidas de presión en el manómetro de aspiración y en el manómetro de descarga. También se miden las revoluciones por minuto por medio de un tacómetro o cuenta revoluciones, si lo hubiese. (El tacómetro en un motor de bomba de incendios no es suficientemente exacto.)

Las presiones netas se calculan a partir de las lecturas del manómetro de la bomba, y los caudales correspondientes a las lecturas del tubo de Pitot se obtienen a partir de las tablas de descarga.

Las lanzas pueden estar unidas directamente a cabezales exteriores, sin mangueras, si se puede evitar que el agua extraída cause daños. La eliminación del agua producida en las pruebas es a menudo un problema, y la longitud de las mangueras que se empleen dependerá de las instalaciones existentes para el desagüe y del perjuicio que puede causar el agua a los bienes o a las personas.

(A causa del agravamiento de los problemas relacionados con la eliminación de aguas sobrantes, muchas instalaciones de bombas - están provistas de medidores de agua para la realización de las pruebas de recepción, y para los controles periódicos de servicio.)

Las bombas de incendios verticales de turbina se prueban de la misma manera que las horizontales, excepto que no se monta un manómetro de aspiración. Además, debe registrarse el nivel del agua de bombeo en los diferentes puntos de la prueba a no ser que exista un nivel más o menos constante.

### 3.2.21. Emplazamiento y alojamiento de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se alojan en edificios de construcción resistente o incombustible. Incluso en climas tan benignos que no existe peligro de congelación, se necesita tener la bomba bien guardada y aislada para protegerla contra la suciedad, la corrosión y la manipulación indebida. Es deseable que exista una separación estructural entre la sala de bombas y otras partes del edificio.

Las salas de bombas y las instalaciones de energía deben estar lo más limpias posible de riesgos de incendio, explosión, inundación y huracanes.

Las salas de bombas deben disponer de iluminación, calefacción, ventilación y sumidero de desagüe en el piso. Es preferible su emplazamiento en lugar seco y elevado. Para las bombas movidas por motor de explosión, es esencial disponer de calefacción y ventilación, y emplazarlas en lugar elevado.

Es preferible que las bombas de incendios estén instaladas en el punto más cercano posible a las zonas donde la protección sea más importante. En las grandes plantas industriales puede ser necesario suministrar agua a más de un solo punto para obtener un sistema de distribución más favorable. Cuando el resultado de esta distribución obligue a instalar una bomba en un lugar más o menos aislado, los

requisitos antes expuestos respecto al alojamiento y supervisión adquieren importancia especial.

### **3.3 Rociadores automáticos.**

#### **3.3.1 Instalaciones normales de rociadores automáticos**

Los términos protección por rociadores, instalación de rociadores y sistemas de rociadores, generalmente significan una combinación de dispositivos para la descarga de agua (rociadores), una o más fuentes de aprovisionamiento de agua a presión, dispositivos para controlar el paso del agua (válvulas), tuberías de distribución para suministrar el agua a los dispositivos de descarga y equipo auxiliar como alarmas y medios de supervisión. Frecuentemente, las bocas de incendio interiores, hidrantes exteriores y conexiones para mangueras forman parte del mismo sistema para la protección contra el fuego..

Cuando se consideran los problemas de abastecimiento de agua, el comportamiento de los rociadores, los sistemas de tubería seca o tubería húmeda u otras disposiciones especiales de la protección por medio de rociadores, la designación sistema se aplica a aquellos rociadores que estén controlados por una sola válvula de abastecimiento de agua. Según esta definición, los edificios de gran tamaño requieren varios sistemas de rociadores y un solo sistema de abastecimiento de agua puede alimentar a varios sistemas de rociadores.

Los fundamentos de la protección mediante rociadores automáticos giran sobre el principio de la descarga automática del agua con densidad suficiente para controlar o extinguir los fuegos incipientes. Al planificar un sistema que cumpla con este objetivo, deben considerarse muchos factores. Sin embargo, pueden agruparse en cuatro grandes categorías: el propio sistema de rociadores, las características de la construcción del edificio, los riesgos que plantea la actividad que se vaya a realizar en el edificio y los medios de abastecimiento de agua.

Se han proyectado sistemas de rociadores automáticos, de uno u otro tipo, capaces de extinguir o controlar, prácticamente, cualquier tipo de fuego conocido, producido por cualquiera de los materiales que hoy día se emplean. Es esencial que se utilice el tipo de sistema adecuado al riesgo al que debe enfrentarse. Un sistema de rociadores proyectado para controlar y extinguir el incendio de unas oficinas que contienen una cantidad relativamente pequeña de materiales combustibles no puede tener la misma eficacia para proteger un proceso industrial peligroso en que participan grandes cantidades de materias combustibles o una zona de almacenamiento donde la carga de fuego es importante. Por otra parte, tampoco es económica la sobreprotección, instalando equipos capaces de controlar y extinguir fuegos de una magnitud muy superior a la que pudiera suceder normalmente en el edificio de que se trate, durante toda su vida útil.

#### **3.3.2 Riesgos intrínsecos de las actividades**

La actividad a que se designa un edificio es un dato esencial que ha de tenerse en cuenta al proyectar un sistema de rociadores, para la protección contra los riesgos

intrínsecos que plantea el tipo de ocupación de que se trate. La “Norma para rociadores” de la NFPA reconoce tres clases diferentes de actividades, desde el punto de vista de la evaluación de los riesgos. Los diversos tamaños de las tuberías, las distancias entre rociadores, las densidades de descarga de los mismos y los requisitos de abastecimiento de agua, varían para cada una de las categorías, de forma que se pueda prever una protección apropiada al riesgo, evitando, a su vez, gastos innecesarios.

### 3.3.2.1. *Clasificación de las actividades*

Las tres clases principales son: Riesgos ligeros, Riesgos Ordinarios y Riesgos Extraordinarios o Extras.

- a) Riesgos Ligeros: Incluye las actividades donde la cantidad y combustibilidad de los materiales son bajas; los fuegos que se produzcan emitirán cantidades relativamente bajas de calor. Ejemplos de esta categoría son: apartamentos, iglesias, viviendas, hoteles, edificios públicos, edificios de oficinas, escuelas y otros similares.

- b) Riesgos Ordinarios: Esta clase se subdivide en tres grupos, principalmente debido a que cada uno requiere un suministro de agua ligeramente distinto para los rociadores. En general en esta clase se incluyen los edificios comerciales, industriales y de fabricaciones normales.

**Grupo 1** abarca edificaciones donde la combustibilidad es baja, la cantidad de materias combustibles moderada y el almacenamiento de materiales combustibles apilados no excede de una altura de 2.5 m; se puede prever que el fuego solo producirá cantidades de calor moderadas. Algunos ejemplos de este grupo son: fábricas de conservas alimenticias, lavanderías, plantas electrónicas.

**Grupo 2**: incluye edificios donde la cantidad y combustibilidad de su contenido es moderada, la altura de las mercancías almacenadas excede de 3,5 m y donde puede esperarse que el calor emitido por los fuegos previsible sea moderado. Ejemplos de este grupo son: molinos de cereales, plantas textiles, imprentas, empresas de artes gráficas y fábricas de zapatos.

En el **Grupo 3** se enumera un número reducido de actividades en las que la cantidad o combustibilidad del contenido es alta y los fuegos previsible pueden llegar a producir grandes cantidades de calor. Ejemplos de este grupo son: molinos de harina, muelles y andenes, fábricas de obtención y procesos de papel, fabricación de neumáticos y almacenes (de papelería, de mobiliario, de pinturas etc.).

- c) Riesgo Extra: En esta clase se incluyen los edificios o partes de los mismos donde existe un riesgo de incendio que se considera grave. Ejemplos: los procesos de preparación del algodón, fábricas de explosivos, refinerías de petróleo, fábricas de barnices y otras actividades similares, así como líquidos inflamables.

Aunque esta clasificación de las actividades en tres grandes grupos sirve como una buena orientación básica, no elimina la necesidad de evaluar

separadamente ciertas secciones de una actividad que pudieran contener riesgos más graves que el resto del edificio. Por ejemplo, los hoteles se clasifican en la "Norma para rociadores" de la NFPA como Riesgo Ligero. Pero ciertas zonas del hotel, como las cocinas y la lavandería son evidentemente más peligrosas que los cuartos para huéspedes. Consecuentemente, la protección mediante rociadores de estas zonas más peligrosas debe incrementarse y, en este ejemplo particular, el proyecto de protección en la cocina y en la lavandería debe cumplir con los requisitos aplicables a actividades de Riesgo Ordinario.

En cada uno de estos tres extensos grupos, el sistema puede seguir una tabla apropiada de dimensiones de tuberías y unas reglas de distancias entre rociadores o puede calcularse hidráulicamente. Los sistemas calculados y proyectados hidráulicamente son preferibles para la protección de actividades clasificadas como Riesgos Extras, siendo recomendable hacerlo así en todas las clasificaciones.

### 3.3.2.2 *Condiciones planteadas por actividades especiales*

En algunas circunstancias se requiere una protección de rociadores superior a la ordinaria para poder controlar y extinguir el fuego con seguridad. La experiencia adquirida con los rociadores indica que cuando se almacenan mercancías o materias primas combustibles en pilas de gran altura, líquidos combustibles e inflamables, polvos y fibras combustibles, grandes cantidades de materiales combustibles de poco peso y no compactados y productos químicos y explosivos pueden producirse fuegos de propagación rápida que a menudo causan la apertura de un número excesivo de rociadores con resultados desastrosos. La protección completa mediante rociadores automáticos con fuertes suministros de agua es generalmente capaz de controlar los fuegos que se declaran en instalaciones que reúnen estas condiciones peligrosas, siempre que se reconozca claramente de antemano la gravedad del riesgo existente y que los rociadores se proyecten en correspondencia con la importancia del riesgo.

### 3.3.3 Materiales combustibles en pilas de gran altura

Las modernas prácticas de almacenamiento tienden a levantar pilas de gran altura de materias sólidas combustibles o de mercancías embaladas. Son conocidos los desastrosos incendios que han ocurrido en almacenes protegidos con rociadores en que los materiales combustibles estaban apilados a alturas que se acercaban a los 15 m. Uno de los factores principales que contribuye a la dificultad que experimentan los rociadores para controlar o extinguir los incendios de mercancías apiladas en gran altura es que el agua que descargan no puede penetrar hasta el interior o a las partes bajas de estas pilas, que son precisamente donde más frecuentemente se originan los incendios. Las pilas altas y bien compactadas, particularmente las que exceden en altura de 4.5 m, tienen la característica inherente de hacer que el agua resbale sobre ellas, por lo que las partes inferiores de las pilas no se humedecen adecuadamente y, por lo tanto, no impiden la propagación del fuego.

Las pruebas realizadas en laboratorios han demostrado que el método de apilamiento, igual que el tipo y material apilado, tiene una influencia directa sobre el

grado de control o extinción del fuego que puede esperarse de los rociadores. Una pila de gran altura bien estabilizada, como puede ser una de **mercancías sólidas** embaladas en cajas de cartón o en jaulas suficientemente duras (aparatos, mercancías enlatadas, etc.), resiste pertinazmente la acción de los rociadores, pero tan pronto como se derrumba y se esparce es más probable que se logre el dominio del fuego. Las pilas inestables de **mercancías blandas** (almohadas de espuma de goma en cajas de cartón, cereales empacados, etc.) se derrumban más rápidamente ante el ataque del fuego, prestándose mejor al rápido control de los rociadores. Los rollos de papel sin zunchar, puestos de pie, son especialmente peligrosos. Una vez incendiados, se desenrollan, y el papel suelto alimenta más fácilmente el fuego.

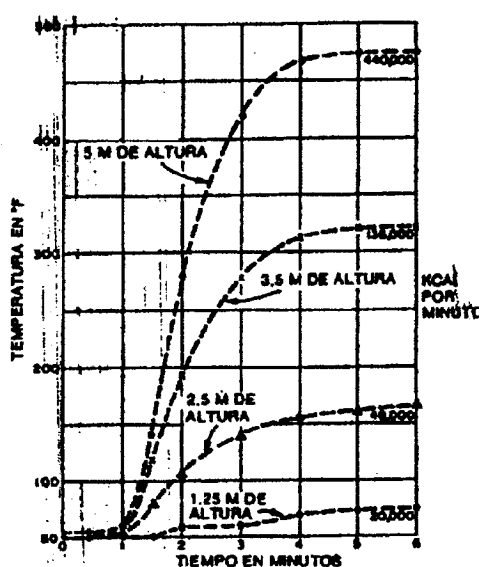


Figura 3.12

Comparación de los valores de emisión de calor producidos en fuegos de ensayo realizados con parejas de tableros de madera de diferentes alturas y separados 20cm. Las temperaturas dadas son las medidas obtenidas al nivel del techo.

La distancia o separación entre las pilas influye también sobre la intensidad del fuego y la facilidad con que pueda propagarse de una pila a otra. Las pilas muy próximas con espacios estrechos entre sí, forman tiros verticales que sirven para aumentar la intensidad del fuego en proporción al calor producido. La Figura 3.12 muestra los resultados de una serie de ensayos realizados con tableros de 1.20 m de ancho de madera de abeto puestos verticalmente y paralelos, distanciados 20 cm entre sí. Los tableros variaban en altura desde 1.20 hasta 5 m. para simular cortas secciones de espacios como se producen entre pilas de materiales almacenados, embalados en cajones pesados. Los fuegos para la prueba se iniciaron a la altura del suelo y se propagaron rápidamente hacia arriba por los espacios libres entre los tableros. Nótese en la Figura 3.12 que la emisión de calor de los tableros de 5m de altura fue 9 veces mayor que la de los tableros de 2,5m.

Las velocidades de las corrientes térmicas ascendentes en el interior de los espacios estrechos también crean una presión que puede propagar lateralmente el fuego hacia los espacios vacíos entre las cajas y a través de los canales horizontales de los *pallets* que no son cortafuegos. Todos estos factores solamente tienden a complicar el problema del control del fuego creando intensidades que exceden de la capacidad de enfriamiento de agua (poca) que puede penetrar por los espacios estrechos que separan las pilas de materiales combustibles.

La “Norma para rociadores” especifica una distancia mínima de 45 cm por debajo de los deflectores de los rociadores para permitir una buena distribución del agua en las zonas de almacenamiento. Este requisito de distancia no debe valer de excusa para no instalar rociadores, apoyándose en la teoría de que podría almacenarse mayor cantidad de productos si no hubiese rociadores. De no haber rociadores, se requiere una separación mínima de 90 cm para dejar espacio suficiente para atacar con efectividad el fuego con chorros de mangueras.

### 3.3.4 Situación y distancia entre rociadores

El fin principal de la selección de los puntos de emplazamiento y de las distancias entre rociadores en un edificio es garantizar que no quede ningún espacio carente de protección donde pueda declararse un incendio, por muy inesperado que sea. En otras palabras, sea cual sea el punto donde se declare un incendio, debe haber uno o más rociadores que entren en acción inmediatamente y descarguen agua sobre el foco del fuego incipiente cuando su calor les alcance. Más aun, sea cual sea la dirección en que el fuego se propague, deberá encontrar otro rociador en su camino que le cierre el paso.

#### 3.3.4.1. *Limitaciones en cuanto a superficie y distancias*

La situación de los rociadores en una línea y la situación relativa de las líneas de rociadores entre sí, determinan las dimensiones del área protegida por cada rociador. La “Norma para rociadores” de la NFPA y de las Normas UNE dan un área máxima determinando de cobertura por cada rociador, dependiente principalmente de la severidad del riesgo que plantea la actividad que se desea proteger y en menor grado, del tipo de construcción del techo o cubiertas situados por encima de los rociadores. Las 3 clases de riesgo son: ligero, ordinario y extra, los cuatro tipos de construcción de techo o de cielo raso y las variaciones que se encuentran dentro de cada tipo son: de cielo raso uniforme, de vigas y jácenas, de viguetas de celosía y de viguetas de madera descubiertas.

La “Norma para rociadores” también estipulan las distancias máximas permisibles entre líneas de rociadores que deben aplicarse para determinar la superficie máxima que cada rociador tenga que proteger, al proyectar un sistema con una distribución de tuberías convencionales. No se establecen distancias exactas; se permite cierta libertad de acción según las distintas configuraciones de los edificios y de los techos. Pero no debe sobrepasarse la superficie máxima de cobertura permitida para cada rociador. Sin embargo, la “Norma para rociadores” permite el empleo de rociadores especiales capaces de cubrir mayores superficies cuando éstos hayan sido probados y se demuestra su capacidad para cubrir mayor superficie.



Por otra parte, los rociadores y las líneas no deben disponerse demasiado cerca. Si los rociadores se disponen a distancias inferiores a 1,80 m, se necesitará colocar pantallas para impedir que al activarse un rociador salpique a los adyacentes demorando su activación.

#### 3.3.4.2 Obstrucciones en la distribución

Aparte de los límites que se establecen en lo relativo a la distancia máxima entre rociadores, en líneas y entre líneas, se han establecido ciertos límites de separación entre rociadores y elementos estructurales tales como vigas, jácenas y cerchas para que estos elementos no obstruyan la libre caída del agua. Si un rociador está instalado demasiado cerca de una viga, ésta puede obstruir la descarga del rociador modificando la configuración de la descarga y reduciendo considerablemente el área de cobertura del rociador dejando espacios muertos sin mojar, donde podría desarrollarse y propagarse el fuego, pudiendo igualmente provocar que tengan que entrar en acción mayor cantidad de rociadores de los que serían necesarios. La "Norma para rociadores" es explícita en cuanto a las limitaciones de distancia entre los rociadores y los elementos constructivos para evitar la obstrucción de la distribución lateral del agua.

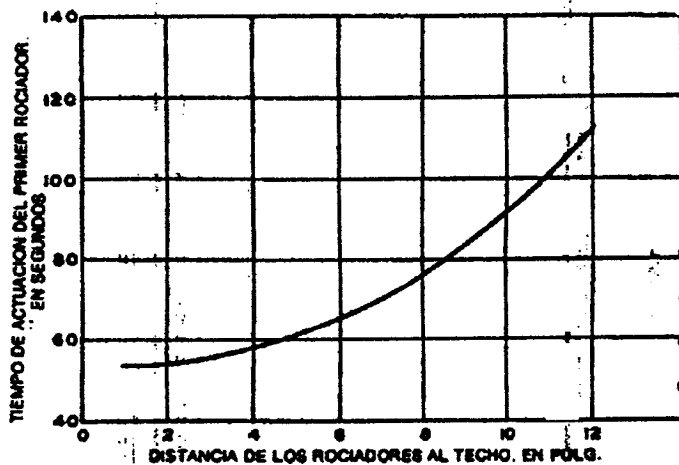


Figura 3.13

Efecto de la distancia entre el techo y los rociadores sobre el tiempo de activación de éstos.

#### 3.3.4.3 Distancias entre los rociadores y el techo

La distancia entre los rociadores y el techo es importante. Cuanto más cerca estén los rociadores del techo, antes entrarán en acción (véase la Figura 3.13). Por otra parte, si se colocan demasiado cerca del techo, pueden producirse serias interferencias en la distribución lateral del agua por los elementos estructurales citados anteriormente; la única excepción en este sentido la constituyen los techos lisos uniformes o continuos. Pero,

por otra parte, cuando los techos combustibles se subdividen por medio de vigas apoyadas en jácenas o forman estrechos canales entre vigas y correas o tirantes, es muy posible que un fuego de intensidad entre severa y moderada pueda hacer entrar en ignición al techo y se propague a distancias considerables si los rociadores no están situados a la distancia correcta con respecto al propio techo. La "Norma para rociadores", establece las distancias máximas a que deben colocarse los rociadores por debajo de los techos según una amplia variedad de tipos de construcción.

### 3.3.5 Tuberías para rociadores

El tendido de tuberías para rociadores debe planificarse cuidadosamente e instalarse de acuerdo con la "Norma para rociadores".

Las líneas de tubería a las que se acoplan directamente los rociadores se llaman tuberías de rociadores o ramales. La tubería que alimenta directamente a los ramales se designa conducción transversal o línea de cruce. La tubería que alimenta a las conducciones transversales se denomina conducción principal de alimentación o tubería de distribución principal (véase la Figura 3.14).

La dimensión de las tuberías que alimentan a los sistemas de rociadores automáticos se determina mediante una tabla predeterminada, o sobre la base de cálculos hidráulicos.

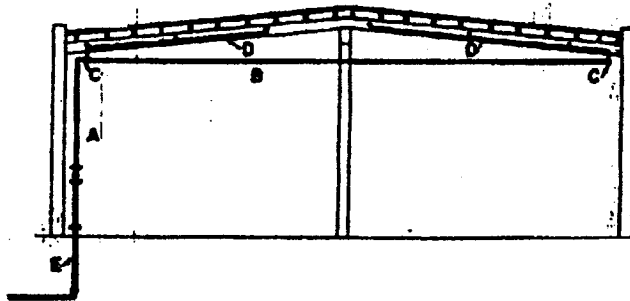


Figura 3.14

Sección de un edificio mostrando las partes constitutivas de un sistema de tuberías para rociadores. (A) línea ascendente; (B) conducción principal de alimentación o tubería de distribución principal; (C) conducción transversal o tubería de distribución; (D) ramal o tubería de rociadores y (E) abastecimiento subterráneo o línea de cruce.

Los ramales de los sistemas de tuberías, en riesgos ligeros ordinarios, no deben tener más de ocho rociadores a cada lado de la línea de cruce, y en los riesgos extra no más de seis. Estos números pueden aumentarse o disminuirse en algunos casos especiales como cuando existan pisos con ranuras, grandes aberturas sin protección o cuando se instalen rociadores en desvanes cerrados. Debe consultarse la "Norma para rociadores" respecto a estas modificaciones.

#### 3.3.5.1 Disposición de las tuberías de alimentación

La Figura 3.15 ilustra diversas configuraciones de las tuberías de alimentación de los sistemas de rociadores. Aunque es permisible

suministrar agua a los rociadores de una zona de incendios por medio de una tubería de alimentación principal suspendida, que asimismo, abastezca a otras zonas contiguas, esto no se hace generalmente, excepto en pequeñas superficies. Las zonas de incendio horizontalmente contiguas deben estar aprovisionadas individualmente, cada una con su propia conducción ascendente y con su propia válvula de mando o llave de paso.

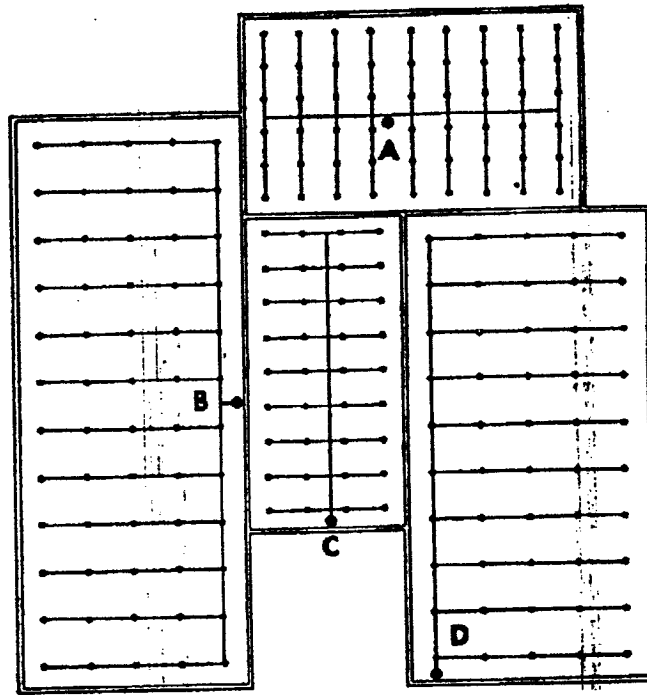


Figura 3.15

Situación de las líneas ascendentes: (A) Alimentación central; (B) alimentación lateral central; (C) alimentación central un extremo, y (D) alimentación lateral o un extremo.

### 3.3.5.2 Líneas ascendentes

El emplazamiento, disposición y diámetro correctos de las líneas ascendentes, plantean problemas cuya solución exige un juicio acertado. Debe considerarse cuidadosamente el tipo de construcción, la altura, la superficie, la actividad y los riesgos de incendio.

En un edificio de varias plantas que tenga barreras cortafuego normales entre ellas, el diámetro de la línea ascendente para la alimentación de los rociadores de más de una planta se determina por el número máximo de rociadores de cualquier planta alimentados por dicha línea o mediante un cálculo hidráulico.

### 3.3.5.3 *Conexiones para el abastecimiento de agua*

La tubería que transporte el agua desde la fuente de abastecimiento principal a las líneas ascendentes que alimentan a los rociadores debe ser por lo menos de igual diámetro que éstas. En las tuberías particulares enterradas, de edificios que contengan riesgos de clasificación superior a ligero, las tuberías extremas que alimenten simultáneamente a rociadores e hidrantes no deben ser de diámetro nominal inferior a 200 mm (8 pulgadas). Las tuberías subterráneas serán de hierro fundido o de amianto-cemento conforme a las especificaciones y reglas para el tendido de tuberías. Las tuberías de acero enterradas pueden corroerse y tener pérdida en un plazo muy corto a no ser que se proporcione una protección especial contra la corrosión. Puede emplearse tubería de cobre, pero solamente cuando haya sido probada y certificada por un laboratorio reconocido, como apta para su empleo bajo tierra.

Cada sistema de rociadores debe tener una válvula de control colocada en un punto accesible para regular el paso de agua al sistema a partir de las fuentes de aprovisionamiento distintas de las conexiones específicas para el servicio de incendios.

Si existiese más de una fuente de abastecimiento de agua, se requiere la instalación de una válvula de retención en la conexión a cada una de las fuentes de abastecimiento.

Una disposición muy común es la de situar las válvulas de retención y las válvulas de compuerta para la recepción del suministro en el interior de una arqueta de válvulas cubierta. Se emplea un poste indicador colocado en la superficie cuando las válvulas de compuerta están enterradas. También se usa algunas veces un poste indicador aunque la válvula de mando esté situada dentro de la arqueta. Disponer de válvulas cierre con dispositivos que den la alarma al cerrarse la válvula, es considerado como el mejor sistema, desde el punto de vista práctico.

En las grandes instalaciones industriales, los sistemas de conducción principales de agua para incendios tienen válvulas de mando seccionales que proporcionan flexibilidad en el empleo del suministro de agua. Es importante que dichas válvulas estén claramente identificadas y señalizadas para indicar el sistema que se regula o se manda desde ellas.

### 3.3.5.4 *Accesorios de las tuberías*

Si las tuberías son de hierro fundido, de diámetro nominal superior a 50 mm (2 pulgadas) y si la presión normal en su interior excede de  $12 \text{ Kg/cm}^2$  (175 libras/pulg<sup>2</sup>), los accesorios deben ser modelo extra-pesado. Si los acoplamientos son hierro maleable, se pueden aceptar los de peso normal en diámetros nominales de hasta 150 mm (6 pulg) inclusive, si la presión normal en el interior del sistema de tuberías no excede de  $21 \text{ Kg/cm}^2$  (300 libras/pulg<sup>2</sup>). Los accesorios deben ser del tipo indicado para sistemas de rociadores. No debe reducirse el diámetro interior de la tubería por medio de manguitos.

Toda la tubería interior se instala por medio de uniones roscadas, embridadas y juntas mecánicas o acoplamientos soldados por bronce o, con la debida aprobación, por soldadura o con acoplamientos flexibles.

Los acoplamientos flexibles de tipo aprobado se emplean cuando sea necesaria una resistencia antisísmica. Se emplean a veces acoplamientos,

codos y tes de este tipo en las líneas ascendentes y en las principales, si su empleo proporciona alguna ventaja especial.

### 3.3.5.5 Colgantes y soportes para las tuberías

Estos elementos se emplean para sujetar el tendido de tuberías de sistemas de rociadores a los elementos estructurales más seguros del edificio. Muchos tipos de construcción de techos son inadecuados para soportar la carga de las tuberías de los rociadores.

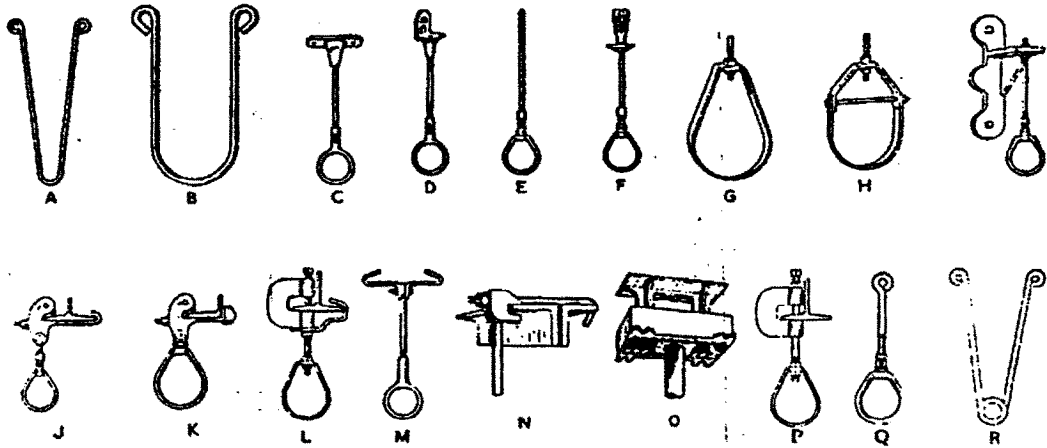


Figura 3.16

Tipos comunes de colgantes y soportes aceptables (A) colgante en U para ramales; (B) colgante en U para conducciones transversales y conducciones principales de alimentación; (C) soporte graduable para ramales; (D) colgante graduable para sujeción al costado de la viga; (E) soporte de tornillo graduable para ramales; (F) colgante de anillo giratorio graduable con escudo ensanchador; (G) colgante graduable de abrazadera; (H) colgante graduable de abrazadera; (I) consola equilibrada; (J) abrazadera universal para viga de doble T; (K) abrazadera universal para perfiles angulares; (L) abrazadera en T con banda de sujeción; (M) abrazadera central para vigas de doble T en ramales; (N) abrazadera superior a la viga; (O) sujeción CL-universal para hormigón; (P) abrazadera tipo C sin banda de retención; (Q) colgante de hembrilla y anillo; (R) gancho en U envolvente.

Los diferentes tipos de soportes necesarios según los distintos tipos de construcción, han sido aprobados y certificados por laboratorios de ensayos. En la Figura 3.16 se ven algunos ejemplos. Para la tubería de mayor tamaño, se emplean frecuentemente barras en forma de trapecio de acero angular o se sostienen mediante barras colgantes dobles. Es preferible instalar horizontalmente los escudos ensanchadores para fijar los colgantes al hormigón, aunque en algunos casos puede hacerse la instalación en vertical. El soporte adecuado de las tuberías es un aspecto importante.

### 3.3.5.6 Condiciones de corrosividad

Cuando existan situaciones que planteen el peligro de corrosividad se exige el empleo de tuberías, acoplamientos soportes calculados para resistir al agente corrosivo de que se trate o la aplicación de una capa de protección a

los componentes susceptibles de tal deterioro. La selección depende de la clase y gravedad de las condiciones de corrosividad. Debe tenerse cuidado de no aplicar pintura a los rociadores al pintar las tuberías u otras instalaciones adyacentes como protección contra la corrosión.

Si fuese necesario emplear tuberías de acero enterradas como medio de conexión del sistema de rociadores de un edificio aislado, la tubería debe estar protegida contra la corrosión antes de enterrarla.

### 3.3.5.7 Equipo de pruebas

#### a) Tubos para la prueba del abastecimiento de agua y manómetros

En la instalación de todos los sistemas de rociadores debe disponerse de estos tubos de prueba. Los tubos de prueba también pueden servir como desagües, permitiendo realizar pruebas de caudal. Las conexiones de prueba no deben ser de diámetro inferior a 50 mm (2 pulg) deben estar provistas de una válvula de cierre. La disposición debe ser tal que permita realizar las pruebas teniendo la llave principal de paso del sistema totalmente abierta sin que su descarga cause ningún daño. Debe instalarse un manómetro de tipo aprobado que indique la presión en la línea ascendente o en un punto cercano a la conexión de prueba. La Figura 3.17 muestra la disposición típica de una conexión para prueba o drenaje con manómetro en una conducción vertical.

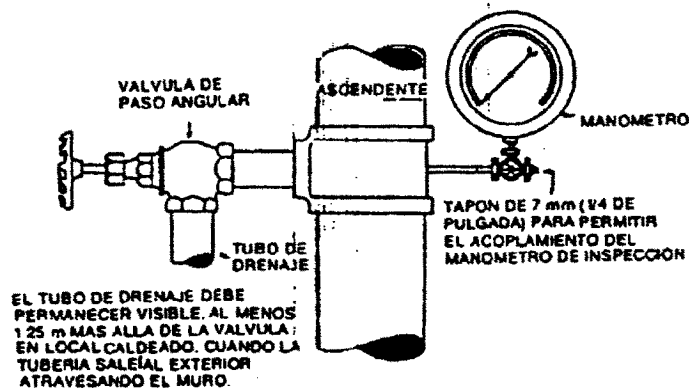


Figura 3.17

Conexiones para prueba y drenaje de la línea ascendente de un sistema de rociadores de tubería húmeda.

#### b) Tubo de prueba del sistema

En el punto más alejado de la válvula de control del sistema de rociadores debe disponerse de un tubo de prueba de diámetro no inferior a 25 mm (1 pulg) y rematado por una salida o boca resistente a la corrosión que produzca un caudal equivalente al de un rociador. Esto proporciona un método adecuado para comprobar los aparatos de alarma y para más activar las válvulas de tubería seca, además de indicar que el agua puede

fluir por todo el sistema. En la Figura 3.18 se ve un ejemplo de la disposición de los elementos para este fin.

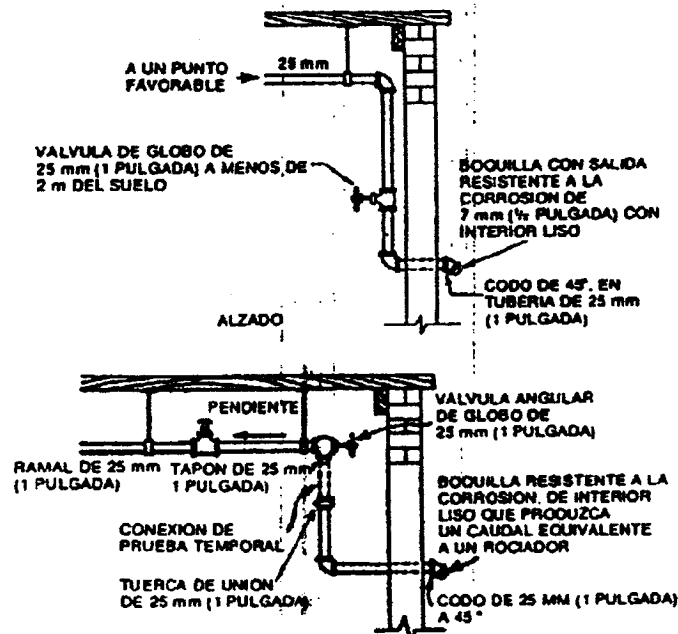


Figura 3.18

Tubos de prueba del sistema de rociadores de tubería húmeda (Abajo)  
Tubos de 1 pulgada para la comprobación del sistema de tubería seca.

### 3.3.5.8 Otras conexiones

No se deben hacer más conexiones a las tuberías de los sistemas de rociadores que las destinadas a mangueras manuales, exclusivamente para incendios. La circulación de agua por las tuberías de los rociadores no es adecuada porque aumenta la corrosión, que puede reducir la eficacia del sistema. La tubería de los sistemas de rociadores no debe emplearse de ningún modo para obtener agua para necesidades domésticas o industriales. Los servicios de agua domésticos o industriales en los períodos punta pueden agotar el abastecimiento necesario para el servicio de incendios durante un incendio. Para acoplar mangueras manuales a las tuberías de los rociadores en el interior de un local, deberán cumplirse las siguientes prescripciones: 1) las mangueras manuales no deben nunca acoplarse a sistemas de rociadores de tubería seca; 2) las válvulas de manguera y las tuberías tendrán por lo menos un diámetro de 25 mm (1 pulg), la manguera no será mayor de 20 mm (1 ½ pulg) la lanza no tendrá una capacidad de descarga nominal superior a 15 mm (½ pulg); no se conectarán mangueras a tuberías para rociadores de diámetro inferior a 65 mm (2 ½ pulg).

### 3.3.6 Tipos de sistemas de rociadores automáticos

Existen seis clasificaciones básicas de los sistemas de rociadores automáticos. Cada tipo de sistema incluye la tubería necesaria para transportar el agua desde la fuente de suministro hasta los rociadores sobre la tubería en la zona bajo protección.

Los seis principales tipos de sistemas son:

- Sistemas de tubería húmeda: En estos sistemas los rociadores automáticos están acoplados a un sistema de tuberías que contienen en todo momento agua a presión. Cuando se declara un incendio, los rociadores se activan separadamente mediante calor y el agua fluye a través de ellos inmediatamente.
- Sistemas de tubería seca normales: Los sistemas de tubería seca normales tienen los rociadores acoplados a una tubería que contiene aire o nitrógeno a presión. Cuando el calor del fuego abre un rociador, se reduce la presión, se abre una "válvula de tubería seca" por la presión del agua y el agua fluye a través de todos los rociadores que se hayan abierto.
- Sistemas de acción previa: Los sistemas de acción previa son sistemas de tubería seca en los que el aire puede estar o no a presión. Cuando se declara un incendio, un dispositivo detector suplementario situado en la zona protegida, entra en acción, abriendo la válvula que permite el paso del agua hacia el sistema de tuberías y su descarga a través de los rociadores automáticos que se hayan abierto por el calor producido por el fuego.
- Sistemas de diluvio: Estos sistemas son similares a los de acción previa, excepto que todos los rociadores están constantemente abiertos. Cuando el calor del fuego activa el detector, el agua fluye hacia los rociadores y se descarga a través de todos ellos, produciendo un diluvio o inundación total en la zona protegida.
- Sistemas combinados de tubería seca y de acción previa: Estos sistemas combinan las características esenciales de los dos tipos descritos. El sistema de tubería contiene aire a presión. Un detector de incendios suplementario abre la llave de paso del agua y un expulsor de aire situado al extremo de la conducción principal de alimentación. A continuación, el sistema se llena de agua y funciona como sistema de tubería húmeda. Si fallase el detector, el sistema funcionaría como si fuese de tubería seca.
- Sistemas de suministro limitado de agua: los sistemas de suministro limitado de agua consisten en rociadores automáticos montados en la forma normal en cuanto a la tubería y a las distancias, pero tienen un suministro reducido de agua.

#### 3.3.6.1. *Sistemas de rociadores de tubería mojada o húmeda*

Las características fundamentales de los sistemas de rociadores de tubería mojada o húmeda, que representan aproximadamente el 75% de todas las instalaciones existentes. Se incluye la provisión de fuentes de abastecimiento de agua, las tuberías, la situación y distancias entre rociadores y otras características.

Esta clase de sistemas se emplea generalmente siempre que no exista peligro de heladas y no se den circunstancias especiales que requieran el empleo de alguno de los demás sistemas.



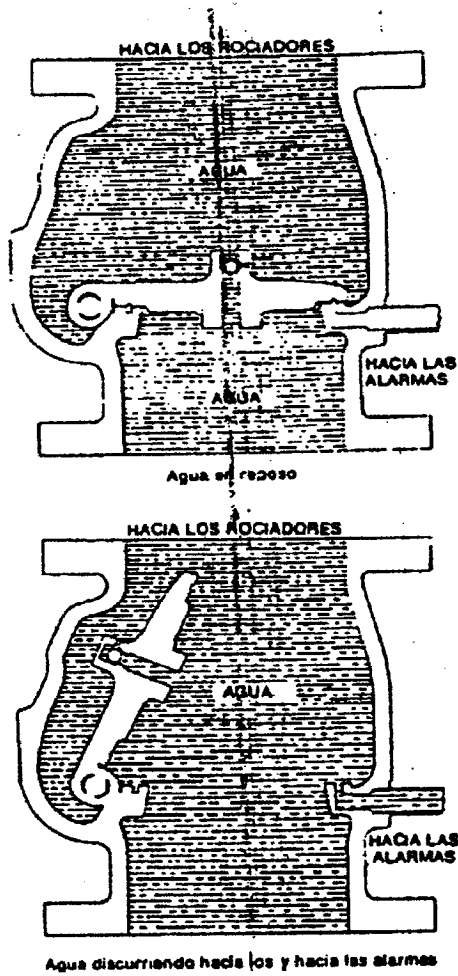


Figura 3.19

Un sistema de tubería mojada se encuentra bajo la presión del agua en todo momento de modo que el agua se descargue inmediatamente que se active un rociador automático. LA válvula de alarma automática, que se muestra, produce una señal de aviso cuando el agua comienza a pasar por la tubería del sistema.

Donde estén expuestos a temperaturas inferiores a la de congelación, inclusive durante breves periodos, no pueden emplearse los sistemas ordinarios de tubería mojada, puesto que el sistema contiene agua a presión en todo momento (véase Figura 3.19). Existen dos métodos aceptados para mantener la protección por medio de rociadores en tales circunstancias. Uno consiste en emplear los sistemas en que el agua solamente entra a los rociadores al activarse la válvula de control (de tubería seca, de acción previa, etc.) y el otro método consiste en el empleo de una solución anticongelante en una parte del sistema de tubería húmeda.

### 3.3.7 Rociadores Automáticos

Los rociadores automáticos son dispositivos que distribuyen agua automáticamente sobre un fuego en cantidad suficiente para extinguirlo totalmente o para impedir su propagación en caso de que el foco inicial estuviera fuera de su alcance o si el fuego fuese de un tipo que no se pudiese extinguir por medio del agua descargada por los rociadores. El agua pasa a las boquillas de descarga de los rociadores a través de un sistema de tuberías, generalmente suspendido o elevado, estando los rociadores conectados a intervalos a lo largo de las tuberías.

Desde que empezó a emplearse este sistema, el comportamiento y la fiabilidad de los rociadores automáticos ha ido mejorando continuamente gracias a la experiencia adquirida y a los esfuerzos de los fabricantes y los laboratorios de ensayos. En 1952 y 1953 se realizó un cambio radical en la configuración de la descarga del agua de los rociadores que mejoró considerablemente su eficacia. En un principio, este tipo de rociador mejorado se llamó de pulverización. En 1958 se convirtió en el normal y los modelos anteriores comenzaron a conocerse como tipo antiguo. La nueva configuración del deflector fue la principal característica que contribuyó a la mejora del nuevo rociador standard.

Existen actualmente muchos tipos de rociadores aprobados que han sufrido pruebas muy estrictas por parte de los principales laboratorios de ensayo.

#### 3.3.7.1. *Principio de funcionamiento de los rociadores automáticos*

Para poder apreciar la robustez, la simplicidad mecánica, la fiabilidad del funcionamiento y la imposibilidad de que actúen prematuramente, es necesario adquirir familiaridad con los principios básicos del diseño, construcción y funcionamiento de los rociadores automáticos.

##### a) Elementos funcionales

En condiciones normales, la descarga de agua de los rociadores automáticos se impide por medio de una caperuza o válvula que se mantiene rígidamente unida contra el orificio de descarga por medio de un sistema de palancas y de enlaces que la oprimen y la retienen firmemente por medio de pies derechos.

- *Rociador de enlace fusible:* El rociador automático de enlace fusible común actúa al fundirse una aleación metálica cuyo punto de fusión está predeterminado. Diversas combinaciones de palancas, pies derechos y enlaces y otros miembros soldados sirven para producir la fuerza que actúa sobre la aleación fusible de modo que el rociador se mantenga cerrado por medio de la menor cantidad de metal que sea compatible con la seguridad. Así se reduce al mínimo el tiempo de actuación. En la Figura 3.20 se ve un rociador de enlace fusible.

Las soldaduras empleadas en los rociadores automáticos son aleaciones de fusibilidad óptima, compuestos principalmente de estaño, plomo, cadmio y bismuto y tienen puntos de fusión claramente definidos. La aleación de dos o más metales puede tener un punto de fusión inferior a la del metal componente que tenga el punto de fusión más bajo. La

mezcla de dos o más metales que den el punto de fusión más bajo posible se llama aleación eutéctica.

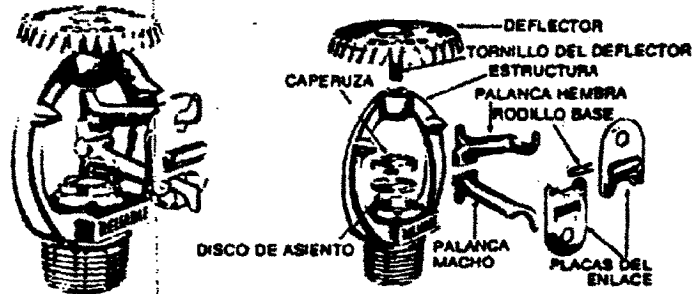


Figura 3.20  
Rociador automático de enlace fusible.

- *Rociadores de ampolla:* Otro tipo de rociador automático tiene el elemento funcional que consiste en un bulbo frágil o ampolla (Figura 3.21). El pequeño bulbo de vidrio especial contiene un líquido pero no está totalmente lleno puesto que queda atrapada en su interior una pequeña burbuja de aire. Al expandirse el líquido a causa del calor, la burbuja se comprime y finalmente el líquido la absorbe. Tan pronto como desaparece la burbuja, la presión aumenta rápidamente y el bulbo se rompe soltando la caperuza de la válvula. La temperatura exacta de activación se regula graduando la cantidad de líquido y el tamaño de la burbuja al momento de sellarse el bulbo.

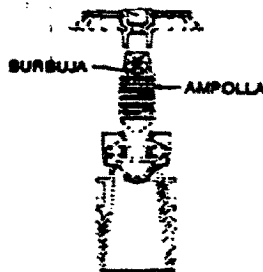


Figura 3.21  
Rociador automático Grimmell "Quartzoid", serie D.

- *Rociador de cápsula:* Otro tipo de rociador tiene una cápsula de fundente o algún otro elemento de metal eutéctico, a compresión, que se funde a una temperatura predeterminada permitiendo el movimiento de los mecanismos de activación. En este tipo de rociador, la cápsula

fusible se encuentra en un pequeño cilindro que tiene un pistón. Al declararse un incendio, el fundente o metal eutéctico fundido se escapa por los costados del pistón o émbolo que a continuación se mueve activando las partes del mecanismo que mantiene cerrada la caperuza.

#### b) Dinámica de los rociadores

En la Figura 3.22 se ve la forma de actuación de los mecanismos de palanca o de enlace fusible de los rociadores automáticos. Los croquis son diagramáticos y no representan con exactitud un tipo especial de rociador.

La presión mecánica que se ejerce normalmente en la parte superior de la caperuza o válvula es muchas veces mayor que la creada por la presión del agua que se encuentra por debajo, de modo que la posibilidad de fugas, incluso por efecto de golpe de ariete o por presiones de agua excepcionalmente altas, es prácticamente nula. La presión mecánica se produce en tres etapas, primero por el efecto del par de las dos palancas, segundo por el mecanismo de los enlaces y tercero por carga del fundente entre las piezas del enlace. Esta última fuerza, resistida por el fundente, se reduce relativamente debido a que los fundentes de la composición necesaria para producir las temperaturas de funcionamiento deseadas, están expuestos a un flujo en frío bajo grandes tensiones. La estructura del rociador u otras partes del mecanismo poseen un grado de elasticidad que proporciona la energía que produce el disparo de las piezas móviles.

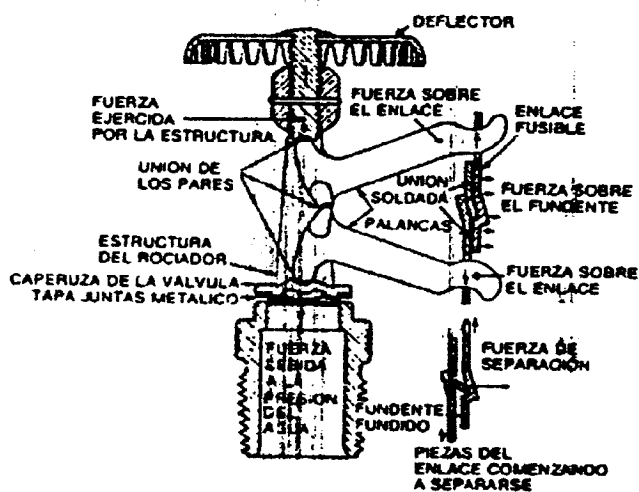


Figura 3.22

Ejemplo de la disposición de las piezas móviles de un automático de enlace fusible.

#### c) Diseño del deflector

Unido a la estructura o cuerpo del rociador, existe el deflector o distribuidor contra el que se lanza el agua con fuerza y se convierte en una gruesa pulverización calculada para que cubra o proteja una superficie dada. Cuando el rociador reacciona al calentamiento del aire que lo rodea,

sus partes móviles funcionan y el agua descarga a través del orificio del rociador contra el deflector. La cantidad de agua que se descargue dependerá de la presión del flujo y de las dimensiones del orificio del rociador. Se considera generalmente que la presión para obtener una acción eficaz del caudal es de  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  (7 psi). A esta presión, un rociador que tenga un orificio de  $\frac{1}{2}$  nominal, descargará 57 l/min. (15 gpm) y cubrirá una superficie de más de  $9 \text{ m}^2$  (100 pies cuadrados) (véase en la Figura 3.23 la cantidad de agua que se descarga a diferentes presiones).

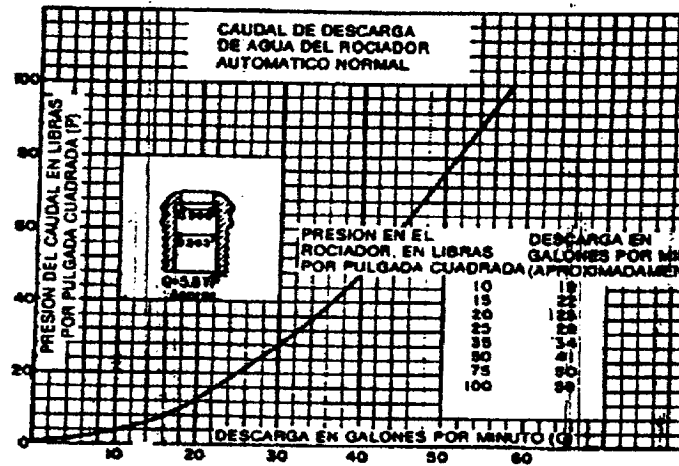


Figura 3.23

Caudal de descarga de agua de un rociador automático standard.

Para lograr que incluso los rociadores que están más distantes del suministro de agua tengan una presión equivalente al mínimo especialmente cuando varios rociadores tienen que entrar en acción simultáneamente, se suministra el agua a una presión de  $3.5$  a  $7 \text{ kg/cm}^2$  (50 a 100 psi). Los sistemas calculados hidráulicamente se basan en el volumen y presión del suministro de agua normalmente disponible.

### 3.3.7.2 Clasificación de temperatura de los rociadores automáticos

Los rociadores automáticos se clasifican según la temperatura a la que actúan, que se obtiene por medio de pruebas normalizadas en las que se sumerge el rociador en un líquido cuya temperatura se eleva muy lentamente hasta que el rociador reacciona.

La clasificación de temperaturas de todos los rociadores automáticos, con mecanismo a base de fundente, está estampada en el enlace fusible. Los rociadores que funcionan según otros principios llevan también la clasificación de temperatura estampada en alguna de las piezas móviles.

La temperatura máxima de seguridad en el interior de un local está más cercana a la temperatura de activación de los rociadores de ampolla o de cápsula fundente que a la de los rociadores que funcionan, a base de enlace

fusible. Esto se debe a que el fundente comienza a perder su fuerza, a una temperatura algo inferior a la de su punto de fusión.

La activación prematura de los rociadores de enlace fusible varía según la amplitud en que se excede la temperatura normal del local, la duración de esa temperatura y la carga que exista en las partes móviles del rociador.

La regla general es que no deben emplearse rociadores con clasificación de temperatura ordinaria donde las temperaturas normalmente deben exceder de 37.8°C (100 °F), para contar con un margen de seguridad adecuado.

#### Temperaturas de activación, clasificación y códigos de colores

Máxima temperatura en el techo		Temperatura de activación		Clasificación de la temperatura	Código de Colores	Color de la ampolla de vidrio
°F	°C	°F	°C			
100	38	135-170	59-77	Ordinaria	Sin color	Naranja o rojo
150	66	175-225	79-107	Intermedia	Blanco	Amarillo o verde
225	107	250-300	121-149	Alta	Azul	Azul
300	149	325-375	163-191	Muy alta	Rojo	Morado
375	191	400-475	204-246	Extra alta	Verde	Negro
475	246	500-575	260-302	Ultra alta	Naranja	Negro
625	329	650	343	Ultra alta	Naranja	Negro

Los rociadores automáticos tardan en actuar entre 1 ó 2 minutos y este plazo puede ser más largo cuando se trata de incendios de desarrollo lento. Pero el extremo importante es que estén calculados para que entren en acción con suficiente rapidez para dominar el fuego antes de que éste alcance grandes proporciones e impedir así su propagación. En realidad, una cierta demora en la actuación de los rociadores puede ser una ventaja porque da tiempo para actuar con extintores manuales, cuando los fuegos se descubren en estado incipiente. En muchos casos, los fuegos que se declaran en locales provistos de rociadores se apagan mediante extintores portátiles antes de que los rociadores entren en acción. Sin embargo, en todos los casos debe avisarse al servicio de bomberos antes de que se intente atacar el fuego con medios propios.

La velocidad de actuación depende de la capacidad de absorción de calor de las piezas metálicas del rociador. Esto depende, entre otros factores, de la diferencia de temperatura entre la atmósfera circundante y la temperatura de sensibilidad del rociador. Cuando los fuegos se desarrollan rápidamente, el tiempo que transcurre hasta su activación es sustancialmente menor que cuando el fuego se desarrolla lentamente. La clasificación de temperatura exacta de los rociadores debe tener menos importancia de lo que se supone comúnmente, y cuando las temperaturas de los techos aumenta rápidamente, la diferencia en la actuación entre un rociador de 74°C (165°F) y otro de 100°C (212 °F) puede ser insignificante.

Al realizarse la prueba de los rociadores, no se establece ninguna distinción entre los diferentes tipos de construcción y la velocidad de actuación que

permiten, siempre que esta velocidad caiga dentro de los límites que se aceptan generalmente como mínimos necesarios para dominar adecuadamente el fuego y que es generalmente menor de dos minutos. Cuando por cualquier razón se desea garantizar una actuación más rápida, pueden escogerse rociadores para estas características. En los casos en que sea necesaria una máxima velocidad de actuación, debido a la posibilidad de que se declaren fuegos de desarrollo rápido o que se propaguen rápidamente lejos de su origen, cómo puede suceder en las fábricas de explosivos, se emplea el sistema de diluvio en que los rociadores están abiertos y, consecuentemente, no existen demoras en su actuación, pues el agua pasa directamente al sistema como resultado del funcionamiento de aparatos de detección de acción rápida.

### 3.3.7.3 *Rociadores automáticos normales (standard)*

Los rociadores standard tienen generalmente el mismo aspecto que, los de tipo antiguo que poseen el mismo tipo de estructura, de enlace u otro mecanismo de activación. La diferencia esencial se encuentra en el deflector; unas diferencias aparentemente mínimas en la forma del deflector producen grandes diferencias en las características de la descarga. En la Figura 3.24 se ilustran ejemplos de rociadores normales.

Anteriormente, la investigación para la mejora de rociadores se dirigía hacia la obtención de una distribución razonablemente uniforme del agua sobre la zona protegida por el rociador, así como hacia la humidificación del techo, en la suposición de que la descarga del agua contra el techo era esencial para lograr la extinción del fuego. Las investigaciones posteriores demostraron que se podría lograr una extinción más efectiva y cubrirse una superficie mayor, dirigiendo toda el agua hacia abajo y horizontalmente. Las investigaciones también demostraron que con esta configuración del chorro de descarga, se puede lograr efectivamente el dominio de incendios que suceden en el techo, por encima de los rociadores, debido al efecto enfriador de la pulverización, mejor distribución del agua a altos niveles y una disminución de la exposición del techo al calor debido a una descarga directa más eficaz del agua sobre los materiales incendiados situados por debajo del rociador.

Debido a la forma del deflector, el chorro continuo de agua que sale del orificio de los rociadores normales se fragmenta y cae en una pulverización en forma de paraguas. Esta configuración es parecida a una media naranja formada por gotas de agua. Una característica de los rociadores normales es la distribución del agua relativamente uniforme a todos los niveles por debajo de los rociadores. A una distancia de 1,2 m (4 pies) por debajo del deflector, la pulverización cubre una superficie circular con un diámetro aproximado de 4.8 m (16 pies), cuando el rociador descarga a razón de 57 l/min. (15 gpm).

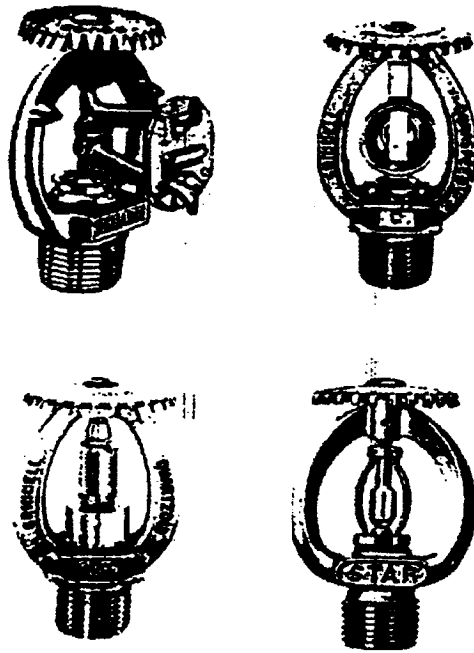


Figura 3.24

Rociadores automáticos normales (standard) exhibiendo los diferentes mecanismos de disparo o actuación. En el sentido de giro de las agujas del reloj comenzando por la esquina superior izquierda se ven: tipo de enlace fusible y palanca (Reliable Automatic Sprinkler C., modelo C); tipo recolector de calor perforado que es una variación del palanca y enlace fusible (Grinnell Company, Inc, Duraspeed, modelo C); un tipo de cápsula (Star Sprinkler Corp., "Stargard", modelo D); y un tipo de ampolla. (Grinnell "Quartzoid", modelo D).

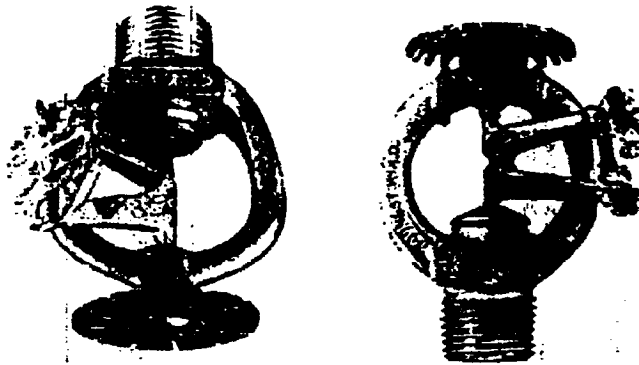


Figura 3.25

Rociador automático aprobado y certificado en sus variantes del mismo modelo para la instalación colgante y montante. Nótese la diferente forma de los deflectores.

Los rociadores pueden instalarse, respecto a las tuberías que los alimenta, en forma colgante o en forma montante, fabricándose de ambos tipos, que deben montarse siempre en la posición que le corresponde. (Véase Figura 3.25). Se acostumbra a sustituir los rociadores de tipo antiguo por



rociadores standard en las instalaciones existentes, aunque la Norma de la NFPA permite su sustitución por aparatos iguales. Sin embargo, la mayor parte de los fabricantes han dejado de producir rociadores de tipo antiguo. En los diagramas de las Figuras 3.26 y 3.27 se pueden ver las configuraciones de descarga de los rociadores de tipo antiguo y de los normales (standard).

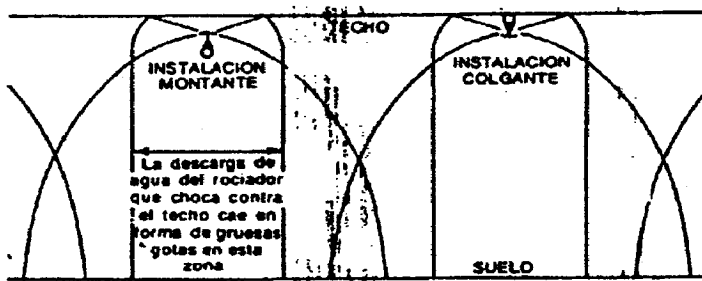


Figura 3.26  
Forma de distribución del agua producida por los rociadores tipo antiguo (anteriores a 1953).

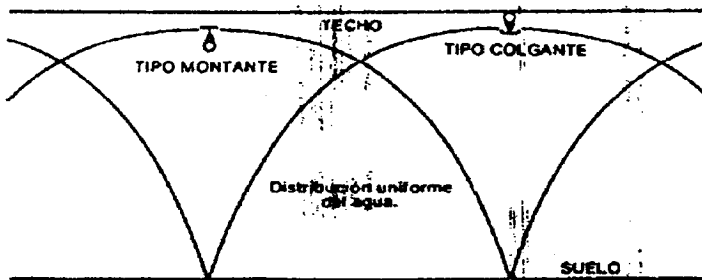


Figura 3.27  
Forma de distribución del agua producida por los rociadores normales (en vigor desde 1953).

#### 3.3.7.4 Rociadores automáticos aprobados

Para obtener la aceptación o aprobación de los rociadores los fabricantes los someten a pruebas por parte de los laboratorios acreditados. Después de realizársele extensas pruebas, los rociadores que las superan se incluyen en una lista de equipos aprobados.

Los rociadores normales deben instalarse en la posición que les corresponde es decir, colgante o montante según se indica por un rótulo estampado sobre el deflector con la palabra correspondiente o con las letras SSU (Rociador normal Montante) o SSP (rociador normal colgante).

- Rociadores para empotrar: Existen disponibles rociadores de modelos especiales pero con la misma configuración de descarga de agua que los rociadores normales colgantes, para tuberías de sistemas húmedos ocultos por encima de los falsos techos, en aquellos casos en que la estética tiene importancia. En la figura 3.28 se ve un rociador de este tipo. Los laboratorios de ensayo acostumbran a certificar estos rociadores especiales con el nombre de rociadores para empotrar. La configuración especial de estos rociadores hace que solamente asomen

el mínimo las partes activas o móviles por debajo del techo donde están instalados sin que se afecte desfavorablemente su sensibilidad al calor ni la configuración de la distribución del agua.

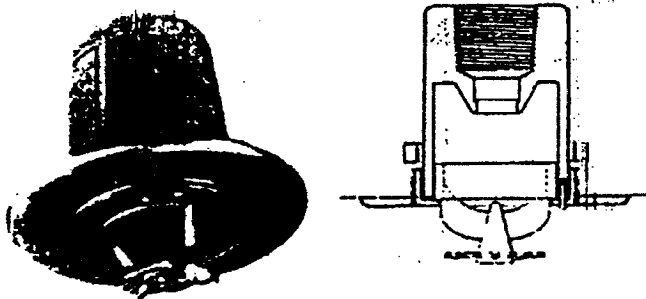


Figura 3.28

Rociador de techo para empotrar. Este tipo de rociadores se emplea donde tiene importancia el aspecto estético. El modelo que se muestra es el de 38-400 de "Automatic Sprinkler" Sprinkler Corp.

En un esfuerzo para facilitar la protección por medio de rociadores, los industriales han creado modelos más estéticos que se integran de una forma atractiva en el material del falso techo. Solamente queda visible desde el suelo un pequeño disco.

Cuando ocurre un incendio la tapa decorativa (un pequeño disco) se cae a la temperatura de 47°C (117 °F) dejando expuestas las partes activas normales de estos rociadores ocultos. Cuando los elementos activos alcanzan una temperatura de 74°C (165°F) los rociadores entran en acción normalmente.

- Rociadores colgantes secos: Cuando por razones estéticas u otros motivos se necesitan rociadores colgantes en combinación con rociadores de tubería seca, no debe permitirse que el agua penetre en el pequeño tubo vertical que descende de la tubería a la que está acoplado el rociador. Pueden emplearse para este fin los rociadores diseñados y aprobados por laboratorios que extienden la aprobación como "rociadores automáticos colgantes secos". La válvula de estos rociadores que abre el paso del agua se encuentra en la parte inferior de la tubería de alimentación del rociador o ligeramente por encima, de modo que no exista bolsa o depresión en la que se pueda formar hielo. Los mecanismos sensibles al calor son adaptaciones de los que se emplean en los rociadores automáticos normales (Véase un ejemplo de rociadores automáticos colgantes secos en la Figura 3.29)

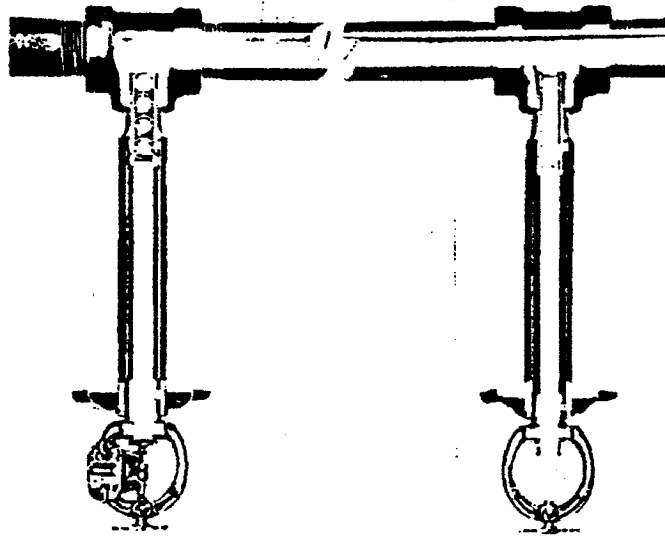


Figura 3.29

Ejemplo de rociadores colgantes secos. Cuando la temperatura ambiente se eleva por encima de la temperatura de actuación del enlace fusible, el fundente se funde y las placas del enlace se separan del cilindro. Las palancas sostenidas por el tornillo del deflector quedan sueltas y la tensión fija de la armadura, actuando como muelle, hace que se desprendan las palancas y las piezas del enlace. El tubo interior que también sirve de orificio de descarga, al no estar sostenido por las palancas, se mueve hacia una posición predeterminada. Al eliminarse el apoyo que representa el tubo interior, los elementos que forman el tapón estanco del orificio de conexión con la tubería pasan por el tubo interno y se alejan del rociador permitiendo el paso del agua a través de un pasaje sin obstrucciones, chocando con el deflector que la distribuye en forma de aspersión con una configuración comparable a la de los rociadores normales de media pulgada.

- Rociadores ornamentales: Los rociadores ornamentales son rociadores automáticos que tienen añadidos de tipo decorativo ó que están bañados o esmaltados con acabados superficiales del tipo que se desee. La ornamentación o la configuración decorativa especial no debe afectar desfavorablemente al funcionamiento del rociador ni a la distribución del agua. Los tipos aprobados de rociadores ornamentales lo son sólo para la instalación colgante.

### 3.3.7.5 Rociadores para usos en distribuciones especiales

Los sistemas de rociadores normales provistos de rociadores montantes o colgantes se adaptan a una gran variedad de distribuciones. Sin embargo, existen algunas que requieren tipos especiales o distribución distinta de los rociadores. En todas las distribuciones es importante disponer de una distribución de agua equivalente en eficacia a la que proporcionarían los sistemas de rociadores normales. En algunos casos se necesita distribuciones especiales en la distribución del agua como sucede con los rociadores de pared; en otros casos las temperaturas poco habituales o las atmósferas corrosivas exigen el empleo de rociadores de modelo especial o con características constructivas distintas.

- Rociadores cíclicos: Es un rociador que se activa y desactiva cíclicamente según sea necesario. El modelo que se muestra en la Figura 3.30, fabricado por la Grinnell Company funciona sobre el principio de válvula piloto. En condiciones normales, la válvula piloto se mantiene cerrada por medio de un disco de acción rápida. El agua que se encuentra en la cámara del pistón mantiene a éste cerrado. Cuando el disco de acción rápida se calienta hasta una temperatura determinada abre la válvula piloto y deja pasar el agua de la cámara del pistón. Esto permite que el pistón se abra y que el agua llegue al rociador y se descargan al exterior. Cuando el disco de acción rápida se vuelve a enfriar hasta 37,8°C (100°F), cierra la válvula piloto. El agua penetra en la cámara del pistón por medio del orificio restringido del mismo pistón y la diferencia de las fuerzas de presión hace que se cierre la válvula. El rociador queda así preparado para repetir su actuación si el disco de acción rápida volviera a calentarse a una temperatura determinada. Existen rociadores de este tipo en modelos colgantes o par:

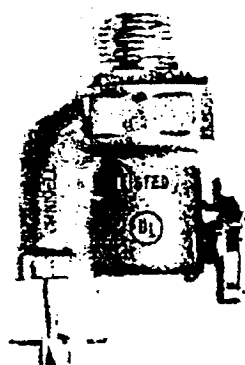


Figura 3.30

Rociador colgante cíclico (on-off). Este rociador en particular se emplea cuando la tubería pasa muy cerca del techo o está oculta por encima de él.

- Rociadores para Ambientes Corrosivos: Se han desarrollado rociadores automáticos protegidos contra ambientes corrosivos, y se han realizado estudios por parte de los laboratorios de ensayo acerca del valor de los distintos métodos de protección. Un recubrimiento total con cera cuyo punto de fusión esté ligeramente por debajo de la temperatura a la que es sensible el rociador es el método más comúnmente empleado. También es común un revestimiento de plomo sobre el cuerpo y las palancas del rociador, en combinación con cera para la protección de los elementos fusibles. Los recubrimientos típicos son cera sola, asfalto solo, plomo solo, cera sobre plomo y asfalto sobre plomo para rociadores que tengan temperaturas nominales de funcionamiento entre

57°C y 100°C. En rociadores homologados para atmósferas corrosivas se utilizan recubrimientos de plomo en la gama total de 57°C a 260°C.

Sean cuales sean las medidas de protección que se adopten, no deben retrasar la función del fundente por la acción de cualquier otro elemento sensible al calor que interfiera con el libre movimiento de las partes activas o altere la configuración de la descarga de agua.

Si se tuviera que cargar un sistema de rociadores con un aditivo anticongelante, los rociadores del sistema deben estar hechos de metales cuidadosamente escogidos para impedir la corrosión interna.

- Rociadores de Pared: Los rociadores de pared tienen los mismos componentes que los normales excepto un deflector especial que descarga la mayor parte del agua hacia un costado con una distribución parecida a un cuarto de esfera. Una pequeña parte de la descarga de agua humedece la pared al lado de la cual está montado el rociador. El alcance horizontal es de unos 4,6 m y por lo tanto mayor que la de los rociadores ordinarios. Montados cerca del encuentro entre el techo y la pared, los rociadores laterales proporcionan protección adecuada en actividades de riesgo ligero tales como vestíbulos de hoteles, comedores, oficinas y otras situaciones donde las tuberías de rociadores habituales tendrían un aspecto poco atractivo.
- Rociadores sin elementos activos (abiertos): Se emplean rociadores automáticos normales o de pared carentes de asiento de la válvula y de elementos sensibles al calor, como boquillas de descarga de los sistemas de diluvio en los que el suministro de agua se controla por una válvula automática de actuación independiente a la de los rociadores.
- Rociadores de pequeño y gran orificio  
Los rociadores automáticos con caudal de descarga mayor o menor de los normales, (orificio de  $\frac{1}{2}$ " ) tienen su empleo limitado a situaciones en que la densidad de descarga deseada puede obtenerse más fácilmente empleando rociadores de diferentes caudales, en vez de adoptarse espaciamientos entre rociadores que pudieran no ser prácticos en ciertas condiciones específicas de suministro de agua, dimensiones de la zona que debe protegerse y tipo de riesgo. La configuración de la descarga de agua de los rociadores de gran o pequeño orificio es similar a la de los normales de  $\frac{1}{2}$ ".  
La Norma para rociadores (NFPA, UNE) aunque acepta los rociadores automáticos de orificio mayor o menor al normal, no proporciona tablas de dimensionado de tuberías ni reglas para su espaciamiento. Cada instalación exige un estudio especial.  
Cuando haya que sustituir rociadores, debe tenerse cuidado de que el sustituto sea del mismo tipo que el sustituido. La sustitución con rociadores con diámetro de orificio idéntico al anterior es fundamental en los sistemas calculados hidráulicamente.

***Rociadores automáticos de pequeño orificio:*** Se han aprobado estos rociadores con orificio de  $\frac{1}{4}$  y de  $\frac{3}{8}$  de pulgada. Tienen capacidades de descarga que varían entre una cuarta parte o la mitad de los

rociadores normales de  $\frac{1}{2}$  pulg. respectivamente. Los rociadores de pequeño orificio se identifican por medio de un pivote que sobresale por encima del deflector, llevando su diámetro estampado en la base del rociador (véase Figura 3.31)

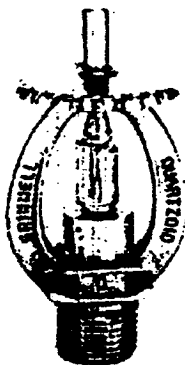


Figura 3.31  
Rociador de pequeño orificio (nótese el pivote en la parte superior del deflector).

**Rociadores automáticos de gran orificio:** Estos rociadores tienen un caudal de descarga del 140% respecto a los rociadores normales del  $\frac{1}{2}$  pulg. y se identifican por tener una conexión con tubería de  $\frac{3}{4}$  “.

### 3.3.8 Abastecimiento de Agua

En cualquier sistema automático de rociadores resulta imprescindible disponer al menos de un suministro automático de agua con suficiente presión, capacidad y fiabilidad adecuadas. Un suministro "automático" es aquel que no depende de ninguna operación manual, como por ejemplo realizar conexiones, manejar válvulas o arrancar bombas para suministrar agua en caso de incendio. Hay que tener en cuenta el caudal y volumen total necesario.

El abastecimiento de agua necesario para los sistemas de rociadores plantea cuestiones que no se resuelven con respuestas específicas, excepto cuando los sistemas de rociadores están diseñados para que todas las cabezas de la zona de incendio descarguen agua. Si se dispone de una fuente de suministro de agua que pueda alimentar a todos los rociadores no hay problema, pero un suministro de agua en estas condiciones rara vez existe, excepto cuando se trate de sistemas pequeños. La demanda de agua de cualquier sistema de rociadores se relaciona directamente con el número de rociadores que se prevea que entren en acción simultáneamente, pero esto depende de tantos factores que no se puede dar una solución matemática exacta.

La respuesta a las necesidades del abastecimiento de agua para cualquier sistema de rociadores en particular, depende fundamentalmente de una apreciación técnica basada en la experiencia, en la consideración de los factores favorables y adversos y en el control que los rociadores puedan ejercer sobre el fuego. Cuando el efecto refrigerante que produce el agua descargada por los rociadores es mayor que el calor liberado por el fuego, los rociadores pueden imponerse. Cuando ocurre lo contrario, como puede suceder cuando el abastecimiento de agua está muy recargado por otras demandas, los rociadores no pueden dominar el fuego fácilmente y puede fallar el sistema. Cuando todas las circunstancias son favorables, el dominio del fuego debe realizarse con la activación de un número de rociadores muy pequeño. Pero como las condiciones varían según las distintas clases de riesgos, superficies y tipos de edificios, el número de rociadores que se prevea entre en acción para dominar el incendio puede variar hasta abarcar posiblemente la totalidad de todos los instalados en la zona y, por lo tanto, debe proveerse un abastecimiento de agua, proporcional a esta demanda.

Los factores que afectan fundamentalmente al número de rociadores que intervienen en un incendio y, por lo tanto, que deben considerarse para la determinación de las necesidades del suministro de agua son los siguientes:

#### 3.3.8.1 *Riesgos de la actividad* (incluyendo la declaración de un fuego rápido y generalizado la emisión potencial de calor)

Este es el factor más importante cuya evaluación requiere un juicio experto. Cuando exista el peligro de incendio de producción rápida y generalizada, es generalmente necesario disponer de agua suficiente para que funcionen todos los rociadores de una zona dada.

#### 3.3.8.2 *Presión inicial del agua*

A una presión de 15 psi (103 KPa), un rociador normal de ½ pulg. (13 mm) descarga 83 l/min. o una media aproximada de  $6,8 \text{ l/m}^2 \times \text{min}$  en una superficie de  $12 \text{ m}^2$ . A 30 psi (207 KPa), esta descarga es de 125 l/min. y a 50 psi (345 KPa), de 155 l/min. A mayor presión, la descarga es proporcionalmente mayor. Si la descarga es mayor, también lo es la posibilidad de controlar el fuego con menor número de rociadores y por tanto, menor cantidad de agua de la que sería necesaria si existieran más rociadores.

#### 3.3.8.3 *Obstáculos a la distribución de agua desde los rociadores*

Cuando existen obstáculos como productos apilados, pallet, estantes o estanterías, es menos probable que se pueda dominar el fuego en sus primeras etapas y existe mayor posibilidad de que se abran más rociadores, lo que hará necesario un mayor caudal de agua.

#### 3.3.8.4 *Techos altos y corrientes de aire*

Cuando los techos son de altura superior a la habitual, existe mayor posibilidad de que se formen corrientes de aire que se lleven el calor, alejándolo de los rociadores situados directamente encima del foco del incendio, lo que produce no solamente un retraso de la aplicación del agua sino también la apertura de rociadores distantes del punto de origen del fuego. Generalmente, se necesitará mayor cantidad de agua cuando se den estas

condiciones. Se presta la misma situación en los locales donde se forman fácilmente corrientes de aire, tales como los que tienen grandes aberturas en los costados por las que el viento puede alejar el calor de los rociadores situados directamente sobre el foco del fuego.

### 3.3.8.5 *Aberturas verticales sin protección*

Los sistemas de rociadores para los edificios de varias plantas se calculan generalmente sobre la presunción de que el fuego puede dominarse dentro de la planta en que se origina. Cuando existan aberturas verticales carentes de protección por donde el fuego puede propasarse en dirección ascendente, debe preverse que se abran más rociadores, particularmente en el caso de que el fuego se origine cerca de las aberturas verticales. Cuando tanto los materiales de construcción como el contenido sean de alta combustibilidad, las zonas comunicadas deberán considerarse como un solo sector de incendio. Esto significa mayor cantidad de agua, tuberías de mayor diámetro en las conducciones de alimentación principal y en las ascendentes.

### 3.3.9 Tamaño de las superficies no compartimentadas

Las grandes superficies no compartimentadas disponen de mayor número de rociadores, existiendo por tanto la posibilidad de que muchos de ellos entren en funcionamiento, causando una mayor demanda de agua que la ocasionada en zonas de mayor superficie.

### 3.3.10 Obstáculos y espacios ocultos en el suelo y en el techo

Las vigas, luminarias y conductos de la calefacción y aire acondicionado pueden impedir la distribución del agua hasta el punto en que haya que instalar otros rociadores para tener en cuenta esos obstáculos, lo que hará que haya que instalar más rociadores en esa zona. Los obstáculos sobre el suelo, como las divisiones y mamparas, requieren un tratamiento similar.

Los espacios combustibles ocultos tienen también un serio impacto sobre el diseño de las zonas protegidas con rociadores. Si no están protegidos, normalmente hay que instalar el doble de rociadores en esa zona para evitar la propagación incontrolada del fuego.

### 3.3.11 Extensión de la zona protegida y exposición a fuegos externos

Cualquier fuego que se origine en un espacio no protegido y que se propague a una zona protegida por rociadores automáticos impone una demanda anormal sobre el sistema de rociadores y requiere un suministro de agua mayor para que el sistema funcione eficazmente.

Los factores precedentes han de considerarse individuales y colectivamente y no es factible aplicar una fórmula general ni un método simple para llegar a la solución más acertada para el cálculo del suministro de agua. Sin embargo pueden hacerse ciertas afirmaciones generales sobre este tema. La primera es que cualquier riesgo puede quedar eficazmente protegido con mucha menos agua, siempre que el agua se aplique automáticamente en vez de manualmente. La otra es que es conveniente disponer siempre de mayor cantidad de agua y a mayor presión de la que se prevea necesaria para extinguir cualquier fuego. Puede suceder que se empleen mangueras para suplir la acción de los rociadores, incluso cuando no sean necesarias y, por lo tanto, la disposición de un suministro de agua elevado proporciona un margen de



seguridad.

Se trata de disponer de un abastecimiento de agua adecuado para cubrir todas las zonas durante un período dado. Como base del proyecto se toman los rociadores en las zonas más alejadas (hidráulicamente remotas). La capacidad de abastecer de agua los rociadores de esta zona supone automáticamente que los que están más cerca de la acometida, también recibirán la cantidad de agua adecuada.

## CAPITULO IV

### DESCRIPCION DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS A DISEÑAR

#### 4.1 Descripción arquitectónica y de las características del sistema contra incendio actual de Industrias Nettelco.

Industrias Nettelco S.A. está ubicado en la calle 5 #115, Urbanización Vulcano, distrito de Ate Vitarte, ciudad de Lima. La construcción es básicamente de ladrillo y concreto, cubriendo en total un área de aproximadamente 13 200 metros cuadrados.

Las actividades básicas en la fábrica son el enconado, tejido, teñido y acabado. Las salas destinadas a estas actividades están ubicadas en áreas de un solo nivel, sin embargo hay otras actividades, principalmente las administrativas que se realizan en áreas que ocupan dos niveles. Además cuenta en sus instalaciones industriales con áreas de almacenaje, depósitos y tienda.

Para este tipo de actividad, los diseñadores del sistema contra incendio actual se basaron en la norma NFPA 14 que propone lo siguiente:

Sistema Clase II (Protección en riesgos ordinarios, extinción de incendios en sus inicios). Sistemas contra incendio de hidrantes para operarse por ocupantes de las instalaciones sin adiestramiento previo.

Hidrantes	Los necesarios para cubrir la totalidad del área.
Mangueras	De 1½" con una longitud máxima de 30 metros.
Gasto	Suficiente para mantener 2 hidrantes abiertos simultáneamente, o sea 180 lts/min. (50GPM) por hidrante por 2 hidrantes = 360 lts/min. (100GPM).
Presión	65 libras/pulgada <sup>2</sup> en la boquilla de la manguera (chiflón) necesaria para descargar 180 lpm por un chiflón de 1½". La presión no deberá exceder de 100 libras/plg <sup>2</sup> .
Red principal	Tubo con un diámetro de 3", suficiente para conducir 360 lpm con una pérdida de presión mínima.
Ramales	Tubo de 2", para abastecer cada hidrante.
Reserva de agua	Mínimo 12,000 litros exclusivos para el sistema contra incendio, suficientes para operar dos hidrantes simultáneamente durante 30 minutos.

Tabla 4.1

El sistema contra incendio (S.C.I.) que posee Industrias Nettelco está conformado por un cisterna de agua, un sistema de bombeo para uso exclusivo del sistema contra incendio, una red de tuberías en acero al carbono cedula 40 y 8 hidrantes con sus gabinetes de salida de agua y de espuma química distribuidos; 2 al interior de la planta industrial y 6 en su perímetro circundante (perímetro interior).

#### 4.1.1. Componentes del S.C.I. de Industrias Nettelco

##### 4.1.1.1 *Cisterna de Agua*

El cisterna de agua se encuentra ubicado en el extremo derecho del plano de la planta textil, su principal función es de abastecer de agua a las calderas, a las máquinas de la planta y para el consumo humano y sanitario.

Se encuentra construido debajo del nivel del suelo, tiene forma de paralelepípedo y posee un volumen total de  $500\text{m}^3$ .

Se mantiene llena gracias a una bomba de pozo, ubicada muy cerca, esta se activa por un mecanismo de flotador, es decir cuando el nivel del agua baja, éste pone en marcha la bomba.

El cisterna esta dividido en dos compartimientos, uno reservado al agua blanda, que constituye la tercera parte del cisterna y el otro al agua dura que la compone las dos terceras partes y es la que llega directamente del pozo.

Para el sistema contra incendios se asume que se dispone del 50% del total de agua dura considerando que el otro 50% es utilizada por los ablandadores.

Poseen una batería de ablandadores automáticos que toman agua del compartimiento de agua dura, cada uno de estos fueron diseñados para regenerar cada 8 horas, sin embargo esto depende del consumo de la fábrica.

El volumen mínimo de agua para un sistema de rociadores automáticos se halla multiplicando el caudal máximo de demanda por los siguientes tiempos de funcionamiento:

Riesgo Ligero 30 min.

Riesgo Ordinario 60 min.

Riesgo Extra 90 min.

##### 4.1.1.2 *Sistema de bombeo*

El sistema de bombeo, esta compuesto por los siguientes elementos:

- a) Equipo de bombeo
- b) Grupo de bombeo auxiliar
- c) Accesorios (valvulería, instrumentación, controles, etc)

##### a) Equipo de bombeo:

La bomba contra incendio está ubicado en un cuarto construido debajo del nivel del piso especialmente para su alojamiento, descansa en el nivel que constituye el piso del cisterna, y su tubería de succión está ubicada 0.5m por encima de este, pero 2.5m por debajo del nivel superior de agua del reservorio es decir tiene una succión positiva de 2.5m.

La succión está conectada al compartimiento de agua dura, y tiene una tubería de 6 pulgadas de diámetro.

Es una bomba con un motor a gasolina, con 120 minutos de autonomía, su marca es Ziegler modelo TS 8/8 Ultra-Power que cuenta con:

**Salida Nominal:**

800 l/min a 8 bar y 3m de altura de succión geodesica

**Salida de la Bomba:**

A 1.5m de altura de succión	aproximadamente 2150 l/min a 4 bar
A 3m de altura de succión	aproximadamente 1950 l/min a 6 bar
	aproximadamente 1800 l/min a 8 bar
	aproximadamente 1500 l/min a 10 bar
A 7m de altura de succión	aproximadamente 1050 l/min a 8 bar

**Dimensiones (Largo, Ancho y Altura)**

Aproximadamente 1085mm, 740mm, 830mm

**Peso**

Pesa aproximadamente 189 Kg

Tiene un motor Volkswagen de 4 cilindros

Rendimiento: 37 kW (50HP) a las 5000 RPM.

Desplazamiento del pistón: 999ccm.

Batería: 12 V, 3 A.

16,5 litros tanque lleno de combustible para la gasolina sin plomo (ROZ 95), suficiente para dos horas de funcionamiento a las condiciones nominales (800 l/min en 8 bar).

**b) Grupo de bombeo auxiliar - Bomba Jockey:**

Se utiliza para presurizar la red de incendios, reponiendo las fugas que pudiera tener la instalación y para, de manera automática, siempre comandada por un presostato regular a una presión de 8 bar.

**c) Accesorios:**

Para la instalación de la bomba se cuenta con los siguientes accesorios:

En la línea de aspiración.

- Válvula de cierre.

En la línea de impulsión existen instalados por orden de aparición desde la brida de impulsión:

- Válvula de seguridad, de escape conducido, para alivio a caudal cero. Mantiene una presión determinada aguas arriba independientemente de los cambios de presión o caudal aguas abajo. Intercalada en el sistema se

utiliza como sostenedora de presión, y puesta en derivación, se utiliza como válvula de seguridad o alivio.

Aplicaciones principales: sostener y limitar la presión en la línea.

- Válvula de retención.
- Válvula de cierre que permite visualizar su grado de apertura.

Y además:

- Presostatos, manómetros y accesorios.
- Cuadro eléctrico de mando para arranque y control de la bomba jockey.

#### *4.1.1.3 Tendido de Red*

Con tubos ASTM A618 sin costura SCH40 de 4 y 6 pulgadas de diámetro, incluye 8 tomas de 2 ½ pulgadas para los gabinetes contra incendio con terminación de 2 ½ pulg. Algunas juntas están soldadas de manera continua, de tal manera, que la parte interior de la junta no afecta el flujo de agua.

#### *4.1.1.4 Gabinetes*

Gabinetes contra incendio, lanzador de espuma pesada S2 (200 litros), premezclador (200 litros) con manguera de absorción, dos bidones de espuma MBB, manguera de nitrilo de 1 ½ de 30 metros y pitón multipropósito de 1 ½ pulg.

## **4.2 Evaluación de riesgos y necesidades de mejora en el sistema contra incendios de Industrias Nettelco.**

### **4.2.1. Riesgos de incendio en una textil**

Los principales riesgos de incendio en la industria textil son debidos a la proximidad entre la maquinaria y las existencias (stocks), a la facilidad de inflamación de los materiales y a la rapidez con que el fuego se puede propagar entre distintas unidades de producción. Las causas principales del fuego son fallos en los equipos eléctricos, chispas producidas por materiales extraños en las existencias y el calor desprendido por rozamientos.

Como ya se dijo, las actividades básicas en Nettelco son el enconado, tejido, teñido y acabado. Las fibras constituyen el componente principal de los productos textiles. En Nettelco las fibras llegan en forma de hilo crudo que es sometido a un proceso de enconado y posteriormente se realiza un tejido o punto para confeccionar distintos géneros (lisos, estampados etc). Normalmente, los tejidos se lavan, blanquean, tiñen y/o se acaban con productos químicos que les confieren flexibilidad o rigidez, resistencia al planchado, brillo o resistencia al clima. También dichos hilos enconados, son sometidos a teñido para luego ser utilizados en los tejidos o ser comercializados como hilos de colores.

La inflamabilidad, velocidad de propagación de la llama y disipación de calor, calor total liberado, contracción y facilidad de extinción de los productos textiles, son hechos que dependen del contenido en fibra, peso y confección. El acabado no afecta generalmente a estas propiedades, a menos que sean ignífugas.

Las fibras naturales se subdividen en celulósicas y proteínicas. Industrias Nettelco trabaja básicamente con fibra natural celulósica cuyo producto más importante es el algodón. El algodón contiene más de un 90% de celulosa ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>x</sub>. Otras fibras cuyo componente básico es la celulosa son el yute, lino, cáñamo y sisal. El algodón y demás fibras vegetales son combustibles; la temperatura de ignición de la fibra de algodón es de 400 °C. Cuando se queman producen calor, humo, anhídrido carbónico, monóxido de carbono, agua y otros numerosos compuestos. Las fibras vegetales se carbonizan pero no se funden.

A continuación, una tabla del comportamiento de distintos productos textiles para diferentes grados de temperatura:

Tipo de fibra	Descomp	Fusión	Temperaturas (°C)		Comportamiento a la combustión
			Ignición	Comb.	
<i>Naturales Celulósicas:</i> <i>Algodón, cáñamo, yute, sisal, etc.</i>	305-320	—	255-400	850	Carbonización, arden, incandescencia residual.
<i>Naturales Proteínicas:</i> <i>Lana, cachemir, pelo de camello, etc.</i>	230	—	570-600	940	Carbonización, hinchamiento, mayor dificultad a arder que las celulósicas.
<i>Sintéticas: Acetato</i>	300	260	440-525	960	Fusión, arde
<i>Sintéticas: Acrílicas</i>	285-310	—	460-560	850	Carbonización, hinchamiento, arden
<i>Sintéticas: Nylon</i>	315-420	215-255	450-570	875	Fusión, escisión, arde
<i>Sintéticas: Olefinas (polipropileno)</i>	400	165	500-570	840	Fusión, escisión, arde
<i>Sintéticas: Poliéster</i>	360-400	250-300	450-560	700-725	Fusión, escisión, arde
<i>Sintéticas: Rayón (viscosa)</i>	290	—	420	850	Carbonización, arde
<i>Sintéticas: Spandex</i>	305-355	230-250	415	ND	Fusión, arde

Los fallos en componentes y sistemas eléctricos, constituyen la causa que mayor número de incendios provoca en la industria textil. Para controlar los riesgos de incendio es necesario disponer de un buen programa de mantenimiento basado en revisiones periódicas de las instalaciones eléctricas, con las que no cuenta la textil Nettelco.

De particular atención en los talleres textiles, son las disposiciones de cableados, interruptores y motores de maquinaria donde las vibraciones y acumulaciones de polvo e hilachas, pueden crear condiciones peligrosas.

En las zonas de fabricación de la industria existen grandes concentraciones de polvo e hilachas, y muchas veces no cuenta con un apropiado sistema de aire que lo aspiren directamente, a través de aberturas en las paredes, hacia una sala adyacente de acondicionamiento de aire o a través de aberturas en el suelo, conectadas por conducciones a la sala de acondicionamiento. Las hilachas tienden a acumularse en las

conducciones, si están mal diseñadas, añadiendo riesgos a los debidos a incendios de polvo. En algunos talleres viejos de algunas industrias, las conducciones de movimiento de aire desde el área de preparación acaban en una sala para polvo, normalmente situadas en la parte baja del taller. Cuando están bien diseñadas, se construyen de materiales incombustibles y se protegen con rociadores automáticos.

Las luces fluorescentes del tipo que hay en Industrias Nettelco no son adecuadas para el alumbrado en zonas donde el polvo y las hilachas tienden a depositarse en el suelo alrededor de la maquinaria. Este tipo de alumbrado que produce chispa y tiene un cordón suspendido que no es recomendable tiene un peligro de rotura alto.

Los sistemas de limpieza en Industrias Nettelco son regulares y lo hacen manualmente y con aspiradoras, tienen el problema de no mantener las superficies de contacto suficientemente limpias y libres de hilachas.

En la Textil no hay puertas suficientes que permitan fácil acceso para combatir el incendio y un rápido desalojo de personas.

#### 4.2.2. Selección del sector a implementar con sistema de rociadores automáticos.

En Industrias Textil Nettelco, existen distintas zonas donde se realizan diversos procesos, algunos de ellos con alto riesgo de incendio (véase Plano 1).

Se pondrá en consideración tres zonas en las cuales el riesgo de incendio es alto:

##### *Tejeduría.*

Zona donde existe maquinas tejedoras circulares. Aquí se tejen las telas, que salen en forma de mangas y en su mayoría son de algodón que luego van a ser teñidas, cortadas y tratadas. Existe en esta zona gran cantidad de hilachas flotando en el aire, que son despedidas de las máquinas y las mismas máquinas tienen un alto grado de temperatura, aumentando así el riesgo de incendio.

##### *Embobinado:*

En esta zona, llegan los hilos en sus respectivos cartuchos, los cuales tienen que pasar por un proceso en el cual hay que bobinarlos en unos conos que se adaptan a las distintas máquinas de la empresa, en este proceso también existe un alto riesgo de incendio, considerando que la fricción del proceso de enconado produce gran cantidad de polvo e hilachas, por lo que las medidas de seguridad contra incendio en esta zona son muy estrictas.

##### *Almacenes:*

Industrias Nettelco tiene hasta 3 almacenes ubicados en distintos puntos de su terreno, uno destinado a la tienda, donde se almacenan los productos terminados (prendas de vestir terminadas); en otro almacenan hilos crudos y telas que todavía faltan procesar, y el tercero se destina al almacenaje de hilos y rollos de telas terminados.

En esta tesis se estudiará la posibilidad de proteger la empresa textil Nettalco con rociadores automáticos. Para ello se elegirá un sector destinado al almacenaje de hilos y rollos de telas terminados. Se considera que el riesgo en dicha zona, es el más representativo de la textil, tanto porque la actividad que se realiza allí es común en la fábrica como también por su ubicación lejana con respecto a la bomba contra incendios, por lo que las medidas que se tomen en dicha zona pueden implementarse en toda la planta. El almacén que cuenta con un área total de 373.5 m<sup>2</sup>, está ubicado casi al extremo izquierdo del plano de la planta textil. Tiene un solo nivel de 4.5m de altura, su construcción es de ladrillo y concreto, y su techo con pendiente de 2° está estructurado con vigas transversales tipo tijeral, cubiertas con calaminas.

Los productos almacenados están dispuestos en estanterías sostenidas en elementos estructurales verticales en forma de paletas, las cuales están ordenadas en filas sencillas y tienen entre ellas, pasillos de 2.7 m de ancho. La altura de almacenamiento no supera los 2.5 m., lo que corresponde a una configuración de almacenamiento ST2 (Pag. 24 de la Norma UNE 23590). Tiene una sola puerta por donde entran y salen montacargas. Por último se dirá que muy cerca de allí pasa la tubería del sistema contra incendios.

#### 4.2.3. Análisis de riesgos

El riesgo de fuego en productos almacenados es función tanto de la combustibilidad de los materiales almacenados, incluyendo el embalaje, como de la configuración de almacenamiento.

Para determinar los criterios de diseño para productos almacenados se seguirá el siguiente procedimiento resumido en la Figura 4.2 y extraído de la Norma UNE 23590.

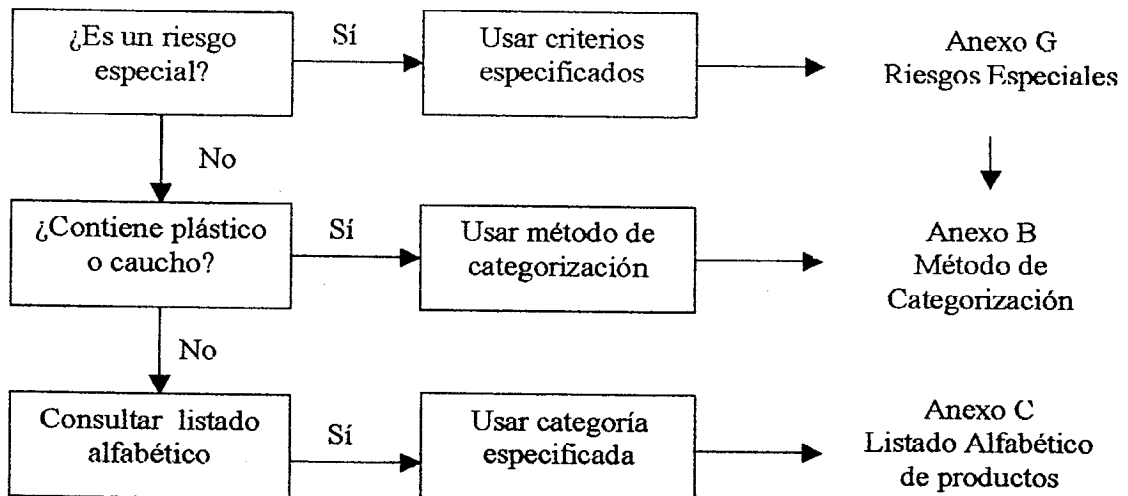


Figura 4.1



Se consultará el Anexo G de la norma, caso de que éste no sea aplicable y de que los productos y su embalaje contengan plásticos o goma, se usará el Procedimiento de Categorización especificado en el Anexo B de dicha Norma.

Si esto no es aplicable, se usará la lista alfabética del Anexo C, extrapolando los datos si fuese necesario.

NOTA.- Donde ninguno de dichos anexos sea plenamente aplicable y estén disponibles datos de las pruebas de incendio a gran escala, podrá ser apropiado usar dichos datos para establecer criterios de diseño.

De la aplicación de este procedimiento, se concluye que el caso en estudio, corresponde a un Riesgo Ordinario Grupo 3 (RO3) y Categoría II.

Clases de riesgo		Densidad de descarga (l/min/m <sup>2</sup> )	Area de operación (m <sup>2</sup> )	Demanda de caudal (l/min)
Ordinario	Grupo RO1	5.0	72	400
	Grupo RO2	5.0	144	800
	Grupo RO3	5.0	216	1200
	Grupo RO4	5.0	360	2000

Tabla 4.2  
Criterios de diseño para sistemas de rociadores

#### 4.3 Propuestas para el mejoramiento del sistema contra incendio de Industrias Nettalco.

Todas las áreas de almacenaje, fabricación y acabado de las plantas textiles, necesitan protección de rociadores automáticos. Se propone entonces, instalar rociadores automáticos en la planta, de esta manera se llegaría al caso de un sistema combinado de mangueras exteriores clase II y rociadores automáticos.

##### 4.3.1 Demanda de caudal y tiempo de autonomía

Es preciso determinar el gasto de caudal y el tiempo de autonomía de esta combinación de sistemas.

$$\text{CAUDAL} = \text{GASTO DE ROCIADORES} + \text{GASTO DE MANGUERAS EXTERIORES}$$

AUTONOMIA : Se tomará en consideración la de los ROCIADORES

De esta manera tenemos, de las Tablas 4.1 y 4.2:

$$\text{CAUDAL} = 1200 \text{ l/min} + 360 \text{ l/min} = 1560 \text{ l/min}$$

AUTONOMIA : 60 minutos

La bomba es capaz de dar ese caudal a una presión adecuada, y si multiplicamos el caudal total por la autonomía del sistema tenemos que necesitamos un abastecimiento de  $93.6\text{m}^3$ . El abastecimiento que se dispone es de  $166.6\text{m}^3$  que corresponde al 50% del agua dura.

#### 4.3.2 Implementación de rociadores

Se recomienda utilizar rociadores con temperatura de funcionamiento ligeramente inferior a  $30^\circ\text{C}$  por encima de la temperatura ambiente más alta prevista. La temperatura de regulación de los rociadores varía de acuerdo con los requerimientos de cada zona. Para la mayor parte de las áreas de fabricación se requieren rociadores regulados a  $165^\circ\text{F}$  ( $74^\circ\text{C}$ ); en zonas de almacenes algunos recomiendan utilizar rociadores de mayor temperatura de regulación. Todos los sistemas rociadores requieren alarmas sonoras e, idealmente, se conectan a una estación central bajo vigilancia regular.

En este caso se utilizará rociadores de respuesta estándar, y se tomará como modelo al Rociador Viking Micromatic, Modelo "M".

##### 4.3.2.1 *Descripción*

El rociador Viking Micromatic®, es un rociador pulverizador de ampolla y de pequeño tamaño. Con el fin de satisfacer los requisitos de diseño, se suministra en varios tipos, acabados, rangos de temperatura y diámetros de orificio. Su pequeño tamaño y ampolla de 8 mm le confieren una atractiva apariencia. Utilizando alguno de los recubrimientos resistentes a la corrosión que se ofrecen, estos rociadores pueden utilizarse en ambientes corrosivos. Con los acabados especiales de poliéster o Teflon® pueden elegirse colores que se adapten a las necesidades de la decoración.

En caso de incendio el líquido de la ampolla se dilata y se produce su rotura, liberando el cierre del orificio del rociador. El agua al fluir a través del orificio, choca con el deflector y da lugar a una pulverización homogénea de la descarga de agua que extingue o controla el fuego.

Para aplicaciones de diluvio, estos rociadores pueden pedirse y usarse como rociadores abiertos (sin ampolla y sin cierre).

##### 4.3.2.3 *Datos técnicos*

Separación máxima: 4.57 m (15 ft)

Separación mínima: 1,80 m (6 ft)

Presión mínima de trabajo: 48,3 kPa (7psi)

Temperatura mínima del líquido de la ampolla:  $-55^\circ\text{C}$  ( $-65^\circ\text{F}$ )

Presión nominal de trabajo: 1207 kPa (175 psi)

Presión de prueba en fábrica: 3448 kPa (500 psi)

A continuación, distintas temperaturas aprobadas para el rociador Viking Micromatic:

Clasificación de temperatura del rociador	Temperatura Nominal del rociador (punto de	Temperatura en el Techo		Color de la ampolla
		Max. Temperatura Ambiente permitida	Max. Temperatura Ambiente recomendada	
Ordinaria	57°C (135°F)	46°C (115°F)	38°C (100°F)	Naranja
Ordinaria	68°C (155°F)	57°C (135°F)	38°C (100°F)	Rojo
Intermedia	79°C (175°F)	68°C (155°F)	65°C (150°F)	Amarillo
Intermedia	93°C (200°F)	82°C (180°F)	65°C (150°F)	Verde
Intermedia	100°C (212°F)	88°C (192°F)	65°C (150°F)	Verde
Alta	141°C (286°F)	130°C (266°F)	107°C (225°F)	Azul
Muy Alta	182°C (360°F)	171°C (340°F)	149°C (300°F)	Malva
Ultra Alta	260°C (500°F)	249°C (480°F)	240°C (465°F)	Negro

Nota: todos estos datos están basados en la Norma Contra Incendio de la NFPA-13

Manteniendo los rociadores con ampolla de 8 mm en posición horizontal debe apreciarse una pequeña burbuja de aire. Su diámetro varía desde aproximadamente 1.5 mm (1/16") para la temperatura de 57°C (135°F) a 3 mm (1/8") para 141°C (286 °F) y alcanza los 4.5 mm (3/18") para la temperatura de 182°C (360 °F).

#### 4.3.2.3 Distribución

Para un Riesgo Ordinario Grupo 3 (RO3), Categoría II y a una configuración de almacenamiento ST2, la Norma UNE nos exige utilizar un área mínima de operación de 216m<sup>2</sup>, asimismo la superficie máxima por rociador no debe superar los 12m<sup>2</sup>

El área del almacén a proteger, será dividida en dos sectores que corresponderán a dos distintas áreas de operación (consultar Norma UNE 23590). Dichas áreas están definidas como:

##### a) Área de operación hidráulicamente mas favorable

Determina la situación en una configuración de tuberías de un área de operación necesaria para que el caudal sea el máximo a una presión especificada. Su forma será en la medida de lo posible cuadrada, por lo tanto los rociadores supuestos en funcionamiento serán situados en cada ramal en la posición hidráulicamente más favorable. Los eventuales rociadores sobrantes que no constituyan un ramal entero serán los hidráulicamente más cercanos en el próximo ramal. Para la determinación del área hidráulicamente más favorable se consideraran todas las posiciones

posibles. En el plano 4 se puede observar el área de operación hidráulicamente más favorable para el caso en estudio.

b) Área de operación hidráulicamente mas desfavorable

Se define como la situación en una configuración de tuberías de un área de operación de manera que la presión del agua sea la máxima necesaria para dar la densidad de diseño especificada. La forma de esta área será en la medida de lo posible rectangular y lo más simétrica posible con respecto a la configuración de rociadores. De igual manera, que en el caso anterior se consideraran todas las posiciones posibles. El área de operación hidráulicamente más desfavorable para este caso se puede observar en el plano 5.

## CAPITULO V

## FORMULACION DE LAS ECUACIONES GOBERNANTES

## 5.1 Criterios empleados en la formulación de ecuaciones gobernantes.

## 5.1.1. Principios fundamentales del análisis de redes

El estudio hidráulico de una red es enfocado mediante el planteamiento de ecuaciones de continuidad en nudos y de energía en mallas o circuitos. Antes de describir en que consisten estas ecuaciones es necesario tener en cuenta un criterio en cuanto al signo de los caudales que intervienen en las mismas:

- Referido a los nudos, los caudales entrantes se consideran positivos y los salientes negativos.
- Referido a los circuitos, se establece como recorrido positivo del circuito el sentido horario; de este modo, si el sentido asignado a una tubería coincide con el positivo del circuito, dicha tubería interviene en la ecuación de energía con signo "+"; en caso contrario, con signo "-".

Si analizamos el caso de una red cerrada como la que se muestra en la Fig. 5.1 y si se tiene en cuenta que  $Q_{D1}$ ,  $Q_{D2}$ ,  $Q_{D3}$ ,  $Q_{D4}$ , ...,  $Q_{DNU}$  son los caudales consumidos en cada uno de los nodos (algunos de los cuales podrían tener un valor nulo en un momento dado), y que  $Q_{e1}$ ,  $Q_{e2}$ ,  $Q_{e3}$ ,  $Q_{e4}$ , ...,  $Q_{em}$  son los caudales que alimentan la red de distribución, se puede establecer la siguiente ecuación de conservación de la masa:

$$\sum_{e=1}^m Q_e = \sum_{i=1}^{Nu} Q_D \quad (5.1)$$

donde Nu es el número de nudos que existe en la red.

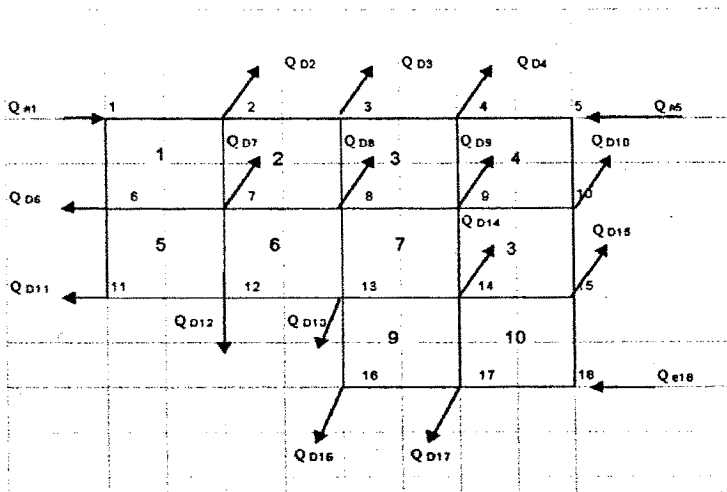


Fig 5.1. Red cerrada. Caudales consumidos en los nudos y caudales de alimentación a la red.

*Ecuaciones de continuidad en los nudos que conforman el circuito.*

Establecen que el sumatorio de caudales que confluyen en un nudo debe ser cero. Estas ecuaciones cumplen la siguiente expresión para cada nudo:

$$\sum_{i=1}^{NT_i} Q_{ij} - Q_{Di} = 0 \quad (5.2)$$

donde :  $NT_i$  = Número de tubos que llegan al nudo i, y  
 $Q_{ij}$  = Caudal que pasa por la tubería ij hacia el nudo i desde el nudo j.

*Ecuaciones de conservación de la energía entre dos nudos que conforman el circuito.*

Establecen que la pérdida de carga acumulada en una malla cerrada es nula. Por extensión, si la malla es abierta, la suma de las pérdidas de carga entre dos nudos extremos será igual a la diferencia de presión de los mismos. Se establece con carácter general que:

$$\sum_{j=1}^{NT_j} (h_{fij} + \sum_{j=1}^{NT_j} h_{mij}) = \Delta p_{ij} \quad (5.3)$$

donde :  $h_{mij}$  = Pérdidas menores entre los nudos i y j.  
 $h_{fij}$  = Pérdidas por fricción entre los nudos i y j.  
 $\Delta p_{ij}$  = Pérdidas de presión entre los nudos i y j.  
 0, en el caso de una red cerrada, y  
 $\Delta p_{ij}$ , en el caso de una red abierta.  
 $NT_j$  = Número de tubos del circuito j, y

Para el caso de una red cerrada se pueden establecer las siguientes expresiones:

*5.1.1.1 Ecuaciones de cabeza*

Para cada uno de los caudales  $Q_{ij}$  de la ecuación (5.2) se puede plantear la siguiente ecuación de conservación de la energía entre los nodos i y j, incluyendo las pérdidas por fricción y las pérdidas menores:

$$\begin{aligned} H_j - H_i &= \sum k_m \frac{V_{ij}^2}{2g} + h_f \\ H_j - H_i &= \frac{V_{ij}^2}{2g} \left( \sum k_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} \right) \\ H_j - H_i &= \frac{Q_{ij}^2}{2g A_{ij}^2} \left( \sum k_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} \right) \end{aligned}$$

Si se despeja  $Q_{ij}$  de esta última ecuación se obtiene la siguiente expresión, la cual relaciona el caudal que pasa por la tubería ij con las cabezas en los nodos i y j.

$$Q_{ij} = \left( \frac{H_j - H_i}{\sum k_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{1/2} \sqrt{2g} A_{ij} \quad (5.4)$$

Si se reemplaza este último resultado en la ecuación (5.2) se obtiene:

$$\sum_{i=1}^{NT_i} \left( \frac{H_j - H_i}{\left( \frac{\sum k_{mij} + f_{ij} l_{ij}}{d_{ij}} \right)} \right)^{1/2} \sqrt{2g} A_{ij} - Q_{Di} = 0 \quad (5.5)$$

donde  $NT_i$  representa el número de tuberías que llega al nudo  $i$ . A fin de tener en cuenta en forma automática el signo del caudal  $ij$  la ecuación (5.4) se puede cambiar por la siguiente expresión:

$$Q_{ij} = \sqrt{2g} A_{ij} \left( \frac{H_j - H_i}{\left( \frac{\sum k_{mij} + f_{ij} l_{ij}}{d_{ij}} \right)} \right)^{1/2} (H_j - H_i)^{-1/2} \quad (5.6)$$

Este tipo de ecuaciones para el diseño y análisis de redes cerradas de tuberías se conocen como las ecuaciones de cabeza. Para este caso, se tienen en total  $Nu - 1$  ecuaciones de este tipo, debiéndose conocer  $H_1$  o cualquier otra cabeza en la red para poder solucionar dichas ecuaciones. En caso contrario se puede suponer alguna de las cabezas, ya que los valores absolutos de éstas no afectan la distribución de caudales, y además debe tenerse en cuenta que las ecuaciones de cabeza son ecuaciones no lineales.

#### 5.1.1.2 Ecuaciones de caudal

Por otro lado, a partir de los circuitos de tubos que conforman la red, los cuales pueden ser adyacentes o superpuestos, se pueden plantear:

Ecuación de continuidad:

$$\sum_{i=1}^{NT_i} Q_{ij} - Q_{Di} = 0 \quad (5.2)$$

Ecuación de conservación de la energía:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} (h_{fij} + \sum_{j=1}^{NT_i} h_{mij}) = 0 \quad (5.3')$$

Luego, si se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach en esta última ecuación, se obtiene la siguiente expresión:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{V_{ij}^2}{2g} \left( \frac{\sum k_m + f_{ij} l_{ij}}{d_{ij}} \right) = 0$$

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{Q_{ij}^2}{2g A_{ij}^2} \left( \frac{\sum k_{mij} + f_{ij} l_{ij}}{d_{ij}} \right) = 0 \quad (5.7)$$

Las ecuaciones de tipo 5.7 se conocen como las ecuaciones de caudal de la red. En total se tienen NC ecuaciones de caudal, donde NC es el número de circuitos que conforman la red. Nuevamente se puede observar que son ecuaciones no lineales.

Lo anterior implica que para el análisis de una red cerrada se tienen en total: NC + (NU - 1) ecuaciones que pueden ser utilizadas para encontrar las cabezas en cada nodo, una de las cuales debe ser conocida o supuesta, y los caudales en cada uno de los tubos que conforman la red. Sin embargo, este conjunto de ecuaciones no puede ser resuelto fácilmente debido a su naturaleza no lineal.

Para asegurar una correcta asignación del signo, estas ecuaciones se pueden transformar tal como se indica a continuación:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{\Sigma k_m + f_{ij} l_{ij}}{2 g A_{ij}^2} Q_{ij} (|Q_{ij}|) = 0 \quad (5.8)$$

Los métodos de análisis de redes de tuberías utilizan conjuntos de ecuaciones de cabeza y de caudal para solucionar la red. En todos los casos se conocen los diámetros y rugosidades de las tuberías, lo cual implica que en realidad se trata de procesos de comprobación de diseño y no de diseños en sí. Sin embargo, en programas de diseño, con función objetivo de tipo optimización de costos, estos métodos de análisis deben conformar alguna de las subrutinas del programa.

### 5.1.2. Método de la teoría lineal

D. J. Wood y C.O.A. Charles desarrollaron este método por entre 1970 y 1972, basándose en la linealización de las ecuaciones de energía en cada una de las tuberías de la red.

*Ecuaciones base:*

1. Para cada unión (nudo) de la red se debe cumplir la ecuación de continuidad:

$$\sum_{i=1}^{NT_i} Q_{ij} - Q_{Di} (+ Q_{ei}) = 0 \quad (5.2)$$

Si Nu representa el número de nodos de la red se tendrán Nu ecuaciones (una de las cuales es redundante, en el caso de una red cerrada).

2. Para cada uno de los circuitos de la red se debe cumplir la ecuación de conservación de la energía:

$$\sum_{i=1}^{NT_i} (h_{fij} + \sum_{i=1}^{NT_i} h_{mij}) = 0 \quad (5.3')$$

Si NC representa el número de circuitos de la red, se tendrán NC ecuaciones.



Mediante la ecuación de Darcy-Weisbach en la ecuación (5.3') se obtiene:

$$\sum_{i=1}^{NT_i} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} \left( \frac{\sum k_{mij} + f_{ij} l_{ij}}{d_{ij}} \right) = 0 \quad (5.7)$$

La anterior ecuación indica que se tienen NC ecuaciones no lineales para el caudal. Dado que no es posible resolver directamente estas ecuaciones simultáneas no lineales, en el caso de flujo en redes se deben utilizar métodos iterativos.

Las ecuaciones (5.7), de las cuales existe una por cada circuito, se pueden transformar en:

$$\sum_{i=1}^{NT_i} k_{ij} Q_{ij}^2 = 0 \quad (5.9)$$

Es claro que el factor  $k_{ij}$  estaría definido como:

$$k_{ij} = \frac{\sum k_{mij} + f_{ij} l_{ij}}{2gA_{ij}^2} \quad (5.10)$$

Para resolver el sistema de ecuaciones, el método de la teoría lineal propone el procedimiento siguiente:

$$h_{fij} + \sum h_{mij} = k'_{ij} Q_{ij} \quad (5.11)$$

en donde:

$$k'_{ij} = \overline{k_{ij}} Q_{oij} \quad (5.12)$$

El caudal  $Q_{oij}$  es el caudal estimado si se trata de la primera iteración, o el caudal corregido de la iteración previa para las demás iteraciones. Al remplazar la ecuación (5.12) en la ecuación (5.9) se obtiene que:

$$\sum_{i=1}^{NT_i} k'_{ij} Q_{ij} = 0 \quad (5.13)$$

Las NC ecuaciones (5.13), una para cada circuito, se combinan con las NU ecuaciones de continuidad (una de las cuales es redundante, luego en realidad se utilizan NU-1 ecuaciones) para formar un sistema de  $NT = NC + NU - 1$  ecuaciones lineales. Es decir se tiene una ecuación para cada tubo y la incógnita para ellas es el caudal.

Las cabezas de los nodos pueden ser calculadas, si se requieren, posteriormente.

Para utilizar las ecuaciones anteriores se debe suponer un caudal inicial en cada tubo. Una de las grandes ventajas del método de la teoría lineal radica en que al no tener éstos que cumplir la ecuación de continuidad en el nodo no se requiere tiempo para la preparación de datos iniciales. El caudal inicial puede ser supuesto igual para todos los tubos: por ejemplo,  $Q = 100$  l/s para todo  $t_i$ . Esta situación no afecta la velocidad de convergencia.

Para obtener los  $k'_{ij}$  en cada iteración se utilizan las siguientes ecuaciones:

- Factor de pérdidas:

$$k_{ij} = \frac{\sum k_{m\ ij} + f_{ij} l_{ij}}{2 g A_{ij}^2 d_{ij}} \quad (5.10)$$

- Ecuación experimental para calcular  $f$ :

$$f = \frac{0.25}{\{\log [(e/3.7D) + (5.74/Re_D^{0.9})]\}^2} \quad (2.42)$$

- Número de Reynolds:

$$Re_{ij} = \frac{v_{ij} d_{ij}}{\nu} = \frac{4 Q_{oij}}{\pi d_{ij} \nu} \quad (5.14)$$

junto con la ecuación (5.12):

$$k'_{ij} = k_{ij} Q_{oij} \quad (5.12)$$

Al observar que en todos los procesos de cálculo de redes (Hardy-Cross, Newton-Raphson, etc.) los valores del caudal en cada tubo convergen por encima y por debajo, sucesivamente, al caudal final, Wood propuso que el caudal de la siguiente iteración ( $c+1$ ) no fuera el calculado en la iteración anterior ( $c$ ), sino el siguiente:

$$Q_{oij(c+1)} = \frac{Q_{oij(c)} + Q_{ij(c)}}{2} \quad (5.15)$$

Esta última ecuación acelera de manera considerable el proceso de convergencia.

### 5.1.3. Inclusión de bombas en el análisis de redes

La inclusión de una bomba en la red no modifica para nada las ecuaciones de continuidad; sin embargo, las ecuaciones de energía se ven influenciadas en la medida de la altura de presión que aporta cada bomba al sistema.

De este modo, al modificar la ecuación (5.13), las ecuaciones de energía en redes influenciadas por la presencia de bombas quedarán:

$$\sum_{j=1}^{NT_j} k'_{ij} Q_{ij} \pm \sum H_B = \Delta p_{ij} \quad (5.16)$$

donde:  $\sum H_B$  = suma algebraica de la altura de presión cedida por cada bomba al circuito en cuestión.

Una curva normalizada de presión-caudal calculada bajo los criterios descritos en la sección 3.2.12, para una bomba centrífuga se puede expresar en la siguiente forma funcional:

$$H_B = A Q^2 + B Q + C \quad (5.17)$$

## 5.2 Selección de factores necesarios para la elaboración de una simulación numérica.

### 5.2.1. Áreas de operación

Las definiciones de las áreas de operación a evaluar han sido tratadas en la sección 4.3.2.2, los áreas elegidas se muestran en los Planos 4 y 5.

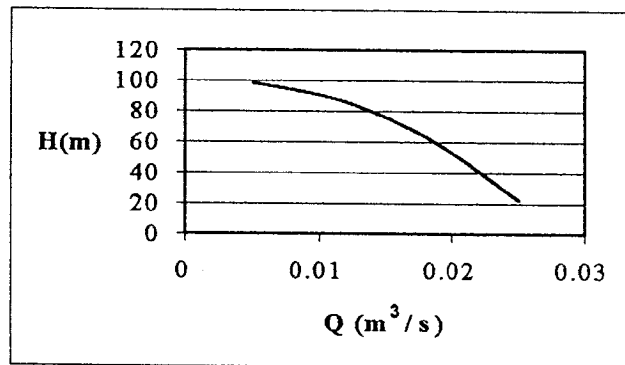
### 5.2.2. Curva normalizada de presión-caudal

La curva de la bomba utilizada en este SCI ha sido calculada en base a los requerimientos de este sistema y como se sabe es de la forma:

$$H_B = A Q^2 + B Q + C \quad (5.17)$$

donde:

$A = 153255$   
 $B = -817.36$   
 $C = -98.083$



### 5.2.3. Parámetros hidráulicos de la red de tuberías

En cuanto a las características hidráulicas, resulta imprescindible conocer diámetros (ver Tabla 2.6), longitudes, rugosidad relativa del material de la tubería (ver Tabla 2.1), así como los coeficientes de pérdidas de los accesorios necesarios para construir la red como son válvulas, codos, tee standard (flujo cruzado), tees standard (flujo recto), uniones (ver Tabla 2.2, 2.3 y 2.4) y reducciones (ver Tabla 2.5).

Cantidad	Accesorio	$k_m$
2	Válvula de compuerta de 6"	0.12
1	Válvula check de 6"	2.5
4	Tee de 6"	0.3
2	Codo de 6"	0.45
1	Unión de 6"	0.3
1	Reducción de 6" a 4"	0.18
5	Tee de 4"	0.34
2	Codo de 4"	0.51
3	Unión de 4"	0.3

Tabla 5.1  
Accesorios en la red de tuberías del SCI actual.

#### 5.2.4. Parámetros hidráulicos de los sistemas de rociadores

Las características más importantes incluyen tanto la vela como el propio rociador. Es necesario conocer el diámetro y longitud de la vela, así como el diámetro y coeficiente de descarga  $C_d$  del rociador (Ver Tabla 2.7).

También es importante conocer los accesorios que se utilizarán en la instalación del sistema de rociadores.

Cantidad	Accesorio
1	Válvula de compuerta de 4"
1	Tee cruzada de 4"
3	Reducción (línea de cruce- ramales)
4	Tee (línea de cruce- ramales)
2	Codo (línea de cruce- ramales)
7	Reducción (línea de cruce- ramales)
28	Tee (ramales)
7	Codo (ramales)
35	Unión (vela - rociador)

Tabla 5.2  
Accesorios en la red de tuberías del SCI a proyectar.

#### 5.2.5. Características del agua

La viscosidad es una propiedad importante del agua, ya que nos permitirá determinar el coeficiente  $f$  necesario para calcular las pérdidas por fricción en la red de tuberías.

### 5.3 Planteamiento numérico de un modelo matemático que simule un sistema contra incendio en operación.

#### 5.3.1. Area de operación hidráulicamente favorable

En el proceso de cálculo de la red mediante el método de la teoría lineal se proponen los siguientes pasos:

### 1. Ecuaciones de continuidad en los nodos.

De la aplicación de la ecuación (5.2) y utilizando la convención de signos especificada en la sección 5.1.1 se obtiene:

$$\begin{aligned}
 \text{I:} & \quad Q_{\text{lin-I}} - Q_{\text{I-II}} - Q_{\text{I-A}} - Q_{\text{I-V}} = 0 \\
 \text{A:} & \quad Q_{\text{I-A}} - Q_{\text{A-B}} - R_1 = 0 \\
 \text{B:} & \quad Q_{\text{A-B}} - Q_{\text{B-C}} - R_2 = 0 \\
 \text{C:} & \quad Q_{\text{B-C}} - Q_{\text{C-D}} - R_3 = 0 \\
 \text{D:} & \quad Q_{\text{C-D}} - Q_{\text{D-E}} - R_4 = 0 \\
 \text{II:} & \quad Q_{\text{I-II}} - Q_{\text{II-III}} - Q_{\text{II-F}} = 0 \\
 \text{F:} & \quad Q_{\text{II-F}} - Q_{\text{F-G}} - R_6 = 0 \\
 \text{G:} & \quad Q_{\text{F-G}} - Q_{\text{G-H}} - R_7 = 0 \\
 \text{H:} & \quad Q_{\text{G-H}} - Q_{\text{H-I}} - R_8 = 0 \\
 \text{K:} & \quad Q_{\text{III-K}} - Q_{\text{K-L}} - R_{11} = 0 \\
 \text{L:} & \quad Q_{\text{K-L}} - Q_{\text{L-M}} - R_{12} = 0 \\
 \text{M:} & \quad Q_{\text{L-M}} - Q_{\text{M-N}} - R_{13} = 0 \\
 \text{V:} & \quad Q_{\text{I-V}} - Q_{\text{V-VI}} - Q_{\text{V-U}} = 0 \\
 \text{U:} & \quad Q_{\text{V-U}} - Q_{\text{U-V}} - R_{21} = 0 \\
 \text{V:} & \quad Q_{\text{U-V}} - Q_{\text{V-W}} - R_{22} = 0 \\
 \text{W:} & \quad Q_{\text{V-W}} - Q_{\text{W-X}} - R_{23} = 0 \\
 \text{Z:} & \quad Q_{\text{VI-Z}} - Q_{\text{Z-AA}} - R_{26} = 0 \\
 \text{AA:} & \quad Q_{\text{Z-AA}} - Q_{\text{AA-BB}} - R_{27} = 0 \\
 \text{BB:} & \quad Q_{\text{AA-BB}} - Q_{\text{BB-CC}} - R_{28} = 0
 \end{aligned}$$

### 2. Ecuaciones de conservación de energía.

Adaptando la ecuación (5.16), para el caso en estudio se tendrá:

$$\left[ \sum k_{ij} Q_{ij}^2 \right]_{\text{Tuberías}} + \left[ \sum k_{ij} Q_{ij}^2 \right]_{\text{Rociador}} = H_B - h_{e i} - h_{v \text{ Rociador}}$$

donde:  $H_B$  = altura de la bomba,  
 $h_{v \text{ Rociador}}$  = altura de velocidad del rociador; y  
 $h_e$  = altura estática en el rociador i.

Como se expuso anteriormente el factor  $k_{ij}$  estará definido por la ecuación (5.10):

$$k_{ij} = \frac{\sum k_m + f_{i,j} l_{i,j}}{2 g A_{i,j}^2}$$

Para resolver el sistema de ecuaciones, el método de la teoría lineal propone lo explicado en la sección 5.1.2.. Teóricamente ello sería lo correcto, sin embargo la experiencia en la sección 6.4 demuestra que realizando algunas modificaciones a este procedimiento el tiempo de cálculo se reduce. Así se tendrá que:

$$h_{fij} + \sum h_{mij} = k'_{ij} Q_{ij} \quad (5.11)$$

en donde:  $k'_{ij} = \overline{k_{oij}} Q_{ij}$ , donde  $\overline{k_{oj}}$  es el coeficiente de pérdidas estimado si se trata de la primera iteración, o el coeficiente de pérdidas corregido de la iteración previa para las demás iteraciones.

Finalmente se tiene:

$$\left( \sum k'_{ij} Q_{ij} \right)_{\text{Tuberías}} + \left( \sum k'_i Q_i \right)_{\text{Rociador}} = H_B - h_e - (h_{vi})_{\text{Rociador}}$$

Para la red abierta del plano 4 (ver anexo) se tiene que:

$$R_1: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-A}} Q_{\text{I-A}} + k'_{\text{R1}} Q_{\text{R1}} = H_B - h_{e1} - h_{vR1}$$

$$R_2: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-A}} Q_{\text{I-A}} + k'_{\text{A-B}} Q_{\text{A-B}} + k'_{\text{R2}} Q_{\text{R2}} = H_B - h_{e2} - h_{vR2}$$

$$R_3: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-A}} Q_{\text{I-A}} + k'_{\text{A-B}} Q_{\text{A-B}} + k'_{\text{B-C}} Q_{\text{B-C}} + k'_{\text{R3}} Q_{\text{R3}} = H_B - h_{e3} - h_{vR3}$$

$$R_4: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-A}} Q_{\text{I-A}} + k'_{\text{A-B}} Q_{\text{A-B}} + k'_{\text{B-C}} Q_{\text{B-C}} + k'_{\text{C-D}} Q_{\text{C-D}} + k'_{\text{R4}} Q_{\text{R4}} = H_B - h_{e4} - h_{vR4}$$

$$R_5: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-A}} Q_{\text{I-A}} + k'_{\text{A-B}} Q_{\text{A-B}} + k'_{\text{B-C}} Q_{\text{B-C}} + k'_{\text{C-D}} Q_{\text{C-D}} + k'_{\text{D-E}} Q_{\text{D-E}} + k'_{\text{R5}} Q_{\text{R5}} = H_B - h_{e5} - h_{vR5}$$

$$R_6: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-II}} Q_{\text{I-II}} + k'_{\text{II-F}} Q_{\text{II-F}} + k'_{\text{R6}} Q_{\text{R6}} = H_B - h_{e6} - h_{vR6}$$

$$R_7: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-II}} Q_{\text{I-II}} + k'_{\text{II-F}} Q_{\text{II-F}} + k'_{\text{F-G}} Q_{\text{F-G}} + k'_{\text{R7}} Q_{\text{R7}} = H_B - h_{e7} - h_{vR7}$$

$$R_8: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-II}} Q_{\text{I-II}} + k'_{\text{II-F}} Q_{\text{II-F}} + k'_{\text{F-G}} Q_{\text{F-G}} + k'_{\text{G-H}} Q_{\text{G-H}} + k'_{\text{R8}} Q_{\text{R8}} = H_B - h_{e8} - h_{vR8}$$

$$R_9: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-II}} Q_{\text{I-II}} + k'_{\text{II-F}} Q_{\text{II-F}} + k'_{\text{F-G}} Q_{\text{F-G}} + k'_{\text{G-H}} Q_{\text{G-H}} + k'_{\text{H-I}} Q_{\text{H-I}} + k'_{\text{R9}} Q_{\text{R9}} = H_B - h_{e9} - h_{vR9}$$

$$R_{11}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-II}} Q_{\text{I-II}} + (k'_{\text{II-III}} + k'_{\text{III-K}}) Q_{\text{II-III}} + k'_{\text{R11}} Q_{\text{R11}} = H_B - h_{e11} - h_{vR11},$$

$$Q_{\text{II-III}} = Q_{\text{III-K}}$$

$$R_{12}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-II}} Q_{\text{I-II}} + (k'_{\text{II-III}} + k'_{\text{III-K}}) Q_{\text{II-III}} + k'_{\text{K-L}} Q_{\text{K-L}} + k'_{\text{R12}} Q_{\text{R12}} = H_B - h_{e12} - h_{vR12}$$

$$R_{13}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-II}} Q_{\text{I-II}} + (k'_{\text{II-III}} + k'_{\text{III-K}}) Q_{\text{II-III}} + k'_{\text{K-L}} Q_{\text{K-L}} + k'_{\text{L-M}} Q_{\text{L-M}} + k'_{\text{R13}} Q_{\text{R13}} = H_B - h_{e13} - h_{vR13}$$

$$R_{14}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-II}} Q_{\text{I-II}} + (k'_{\text{II-III}} + k'_{\text{III-K}}) Q_{\text{II-III}} + k'_{\text{K-L}} Q_{\text{K-L}} + k'_{\text{L-M}} Q_{\text{L-M}} + k'_{\text{M-N}} Q_{\text{M-N}} + k'_{\text{R14}} Q_{\text{R14}} = H_B - h_{e14} - h_{vR14}$$

$$R_{21}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-V}} Q_{\text{I-V}} + k'_{\text{V-U}} Q_{\text{V-U}} + k'_{\text{R21}} Q_{\text{R21}} = H_B - h_{e21} - h_{vR21}$$

$$R_{22}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-V}} Q_{\text{I-V}} + k'_{\text{V-U}} Q_{\text{V-U}} + k'_{\text{U-V}} Q_{\text{U-V}} + k'_{\text{R22}} Q_{\text{R22}} = H_B - h_{e22} - h_{vR22}$$

$$R_{23}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-V}} Q_{\text{I-V}} + k'_{\text{V-U}} Q_{\text{V-U}} + k'_{\text{U-V}} Q_{\text{U-V}} + k'_{\text{V-W}} Q_{\text{V-W}} + k'_{\text{R23}} Q_{\text{R23}} = H_B - h_{e23} - h_{vR23}$$

$$R_{24}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-V}} Q_{\text{I-V}} + k'_{\text{V-U}} Q_{\text{V-U}} + k'_{\text{U-V}} Q_{\text{U-V}} + k'_{\text{V-W}} Q_{\text{V-W}} + k'_{\text{W-X}} Q_{\text{W-X}} + k'_{\text{R24}} Q_{\text{R24}} = H_B - h_{e24} - h_{vR24}$$

$$R_{26}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-V}} Q_{\text{I-V}} + (k'_{\text{V-VI}} + k'_{\text{VI-Z}}) Q_{\text{V-VI}} + k'_{\text{R26}} Q_{\text{R26}} = H_B - h_{e26} - h_{\text{V R26}},$$

$$Q_{\text{V-VI}} = Q_{\text{VI-Z}}$$

$$R_{27}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-V}} Q_{\text{I-V}} + (k'_{\text{V-VI}} + k'_{\text{VI-Z}}) Q_{\text{V-VI}} + k'_{\text{Z-AA}} Q_{\text{Z-AA}} + k'_{\text{R27}} Q_{\text{R27}} = H_B - h_{e27} - h_{\text{V R27}}$$

$$R_{28}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-V}} Q_{\text{I-V}} + (k'_{\text{V-VI}} + k'_{\text{VI-Z}}) Q_{\text{V-VI}} + k'_{\text{Z-AA}} Q_{\text{Z-AA}} + k'_{\text{AA-BB}} Q_{\text{AA-BB}} + k'_{\text{R28}} Q_{\text{R28}} = H_B - h_{e28} - h_{\text{V R28}}$$

$$R_{29}: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-V}} Q_{\text{I-V}} + (k'_{\text{V-VI}} + k'_{\text{VI-Z}}) Q_{\text{V-VI}} + k'_{\text{Z-AA}} Q_{\text{Z-AA}} + k'_{\text{AA-BB}} Q_{\text{AA-BB}} + k'_{\text{BB-CC}} Q_{\text{BB-CC}} + k'_{\text{R29}} Q_{\text{R29}} = H_B - h_{e29} - h_{\text{V R29}}$$

Como se puede observar, en el grupo de ecuaciones anterior es necesario agrupar los términos que están linealizados en el lado izquierdo de la igualdad, dejando para el lado derecho sólo los valores constantes.

Al aplicar la ec. (5.17) para este caso, el valor  $H_B$  es:

$$H_B = A Q_{\text{Lin-I}}^2 + B Q_{\text{Lin-I}} + C,$$

donde A, B y C son las constantes de la curva de la bomba.

Se entiende entonces, que sólo falta discutir sobre la posibilidad de linealizar el término  $h_{\text{V Ri}}$ . En la sección 2.15 se presentaron los conceptos sobre descarga de agua a través de orificios, de esta manera la presión o altura de velocidad en el rociador está dada como:

$$h_i = s_i Q_{\text{Ri}}^2,$$

donde 
$$s_i = \frac{1}{2g a_i^2 C_d^2}$$

y,

$C_d$  = Coeficiente de descarga del rociador

$a_i$  = Área del agujero del rociador i

$Q_{\text{Ri}}$  = Caudal de salida del rociador i

Sin embargo, se necesita que este término sea lineal por ello:

$$h_i = s'_i Q_{\text{Ri}}$$

donde 
$$s'_i = \frac{1}{2g a_i^2 C_d^2} Q_{\text{Ri}}$$

Si reemplazamos esta última ecuación y la correspondiente a la curva de la bomba en el grupo de ecuaciones de energía, para el caso del Rociador N°1 "R<sub>1</sub>" tendremos que:

$$R_1: k'_{\text{Lin-I}} + k'_{\text{I-A}} Q_{\text{I-A}} + k'_{\text{R1}} Q_{\text{R1}} = A Q_{\text{Lin-I}}^2 + B Q_{\text{Lin-I}} + C - h_{e1} - s'_1 Q_{\text{R1}}$$

Reagrupando términos:

$$R_1: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-A} Q_{I-A} + (k'_{R1} + s'_1) Q_{R1} = C - h_{e1}$$

De igual manera se procede con las otras ecuaciones obteniéndose:

$$R_2: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-A} Q_{I-A} + k'_{A-B} Q_{A-B} + (k'_{R2} + s'_2) Q_{R2} = C - h_{e2}$$

$$R_3: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-A} Q_{I-A} + k'_{A-B} Q_{A-B} + k'_{B-C} Q_{B-C} + (k'_{R3} + s'_3) Q_{R3} = C - h_{e3}$$

$$R_4: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-A} Q_{I-A} + k'_{A-B} Q_{A-B} + k'_{B-C} Q_{B-C} + k'_{C-D} Q_{C-D} + (k'_{R4} + s'_4) Q_{R4} = C - h_{e4}$$

$$R_5: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-A} Q_{I-A} + k'_{A-B} Q_{A-B} + k'_{B-C} Q_{B-C} + k'_{C-D} Q_{C-D} + (k'_{D-E} + k'_{R5} + s'_5) Q_{D-E} = C - h_{e5}, \quad Q_{D-E} = Q_{R5}$$

$$R_6: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-II} Q_{I-II} + k'_{II-F} Q_{II-F} + (k'_{R6} + s'_6) Q_{R6} = C - h_{e6}$$

$$R_7: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-II} Q_{I-II} + k'_{II-F} Q_{II-F} + k'_{F-G} Q_{F-G} + (k'_{R7} + s'_7) Q_{R7} = C - h_{e7}$$

$$R_8: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-II} Q_{I-II} + k'_{II-F} Q_{II-F} + k'_{F-G} Q_{F-G} + k'_{G-H} Q_{G-H} + (k'_{R8} + s'_8) Q_{R8} = C - h_{e8}$$

$$R_9: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-II} Q_{I-II} + k'_{II-F} Q_{II-F} + k'_{F-G} Q_{F-G} + k'_{G-H} Q_{G-H} + (k'_{H-I} + k'_{R9} + s'_9) Q_{H-I} = C - h_{e9}, \quad Q_{H-I} = Q_{R9}$$

$$R_{11}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-II} Q_{I-II} + (k'_{II-III} + k'_{III-K}) Q_{II-III} + (k'_{R11} + s'_{11}) Q_{R11} = C - h_{e11}$$

$$R_{12}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-II} Q_{I-II} + (k'_{II-III} + k'_{III-K}) Q_{II-III} + k'_{K-L} Q_{K-L} + (k'_{R12} + s'_{12}) Q_{R12} = C - h_{e12}$$

$$R_{13}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-II} Q_{I-II} + (k'_{II-III} + k'_{III-K}) Q_{II-III} + k'_{K-L} Q_{K-L} + k'_{L-M} Q_{L-M} + (k'_{R13} + s'_{13}) Q_{R13} = C - h_{e13}$$

$$R_{14}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-II} Q_{I-II} + (k'_{II-III} + k'_{III-K}) Q_{II-III} + k'_{K-L} Q_{K-L} + k'_{L-M} Q_{L-M} + (k'_{M-N} + k'_{R14} + s'_{14}) Q_{M-N} = C - h_{e14}, \quad Q_{M-N} = Q_{R14}$$

$$R_{21}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-U} Q_{V-U} + (k'_{R21} + s'_{21}) Q_{R21} = C - h_{e21}$$

$$R_{22}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-U} Q_{V-U} + k'_{U-V} Q_{U-V} + (k'_{R22} + s'_{22}) Q_{R22} = C - h_{e22}$$

$$R_{23}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-U} Q_{V-U} + k'_{U-V} Q_{U-V} + k'_{V-W} Q_{V-W} + (k'_{R23} + s'_{23}) Q_{R23} = C - h_{e23}$$

$$R_{24}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-U} Q_{V-U} + k'_{U-V} Q_{U-V} + k'_{V-W} Q_{V-W} + (k'_{W-X} + k'_{R24} + s'_{24}) Q_{W-X} = C - h_{e24}, \quad Q_{W-X} = Q_{R24}$$

$$R_{26}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + (k'_{V-VI} + k'_{VI-Z}) Q_{V-VI} + (k'_{R26} + s'_{26}) Q_{R26} = C - h_{e26}$$

$$R_{27}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + (k'_{V-VI} + k'_{VI-Z}) Q_{V-VI} + k'_{Z-AA} Q_{Z-AA} + (k'_{R27} + s'_{27}) Q_{R27} = C - h_{e27}$$

$$R_{28}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + (k'_{V-VI} + k'_{VI-Z}) Q_{V-VI} + k'_{Z-AA} Q_{Z-AA} + k'_{AA-BB} Q_{AA-BB} + (k'_{R28} + s'_{28}) Q_{R28} = C - h_{e28}$$



$$R_{29}: (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + (k'_{V-VI} + k'_{VI-Z}) Q_{V-VI} + k'_{Z-AA} Q_{Z-AA} + k'_{AA-BB} Q_{AA-BB} + (k'_{BB-CC} + k'_{R29} + s'_{29}) Q_{BB-CC} = C - h_{e29}, \quad Q_{BB-CC} = Q_{R29}$$

3. Se construye la matriz [A], la cual es una forma compacta de las ecuaciones de continuidad en los nodos y de conservación de energía en los circuitos.

4. Se asumen valores de coeficientes de pérdidas  $k'_{o,ij}$  y de altura de velocidad  $s'_{o,i}$  que serán reemplazados en la matriz [A].

5. Se calculan los caudales en cada uno de los tubos de la red, empleando el método numérico de Eliminación de Gauss, que se describe en el Capítulo VI. Asimismo se calculan también los valores de  $V$ ,  $Re$ ,  $f$ ,  $k$  y  $k'$  para cada tubo.

6. Se corrigen los  $k'_{o,ij}$  y  $s'_{o,i}$ . Aplicando lo dicho con referencia a todos los procesos de cálculo de redes en la sección 5.1.2, se encontró que el  $k'_{ij}$  de la siguiente iteración  $(c+1)$  no fuera el calculado en la iteración anterior  $(c)$ , sino el siguiente:

$$k'_{ij(c+1)} = \frac{k'_{o,ij(c)} + k'_{ij(c)}}{2} \quad (5.15')$$

Esta última ecuación acelera de manera considerable el proceso de convergencia.

7. Se repiten los pasos 5 y 6 hasta que los  $Q_{ij}$  sean todos lo suficientemente parecidos en dos iteraciones sucesivas. El grado de aproximación en los caudales es definido por el diseñador teniendo en cuenta factores tales como el tamaño de la red y los caudales de consumo en cada uno de los nodos.

### 5.3.2. Área de operación hidráulicamente desfavorable

De la misma manera se procede para este caso, obteniéndose como resultado:

1. Ecuaciones de continuidad en los nodos.

$$I: Q_{lin-I} - Q_{I-II} - Q_{I-A} - Q_{I-V} = 0$$

$$C: Q_{B-C} - Q_{C-D} - Q_{R3} = 0$$

$$D: Q_{C-D} - Q_{D-E} - Q_{R4} = 0$$

$$II: Q_{I-II} - Q_{II-III} - Q_{II-F} = 0$$

$$H: Q_{G-H} - Q_{H-I} - Q_{R8} = 0$$

$$I: Q_{H-I} - Q_{I-J} - Q_{R9} = 0$$

$$III: Q_{II-III} - Q_{III-IV} - Q_{III-K} = 0$$

$$M: Q_{L-M} - Q_{M-N} - Q_{R13} = 0$$

$$N: Q_{M-N} - Q_{N-O} - Q_{R14} = 0$$

$$R: Q_{Q-R} - Q_{R-S} - Q_{R18} = 0$$

$$S: Q_{R-S} - Q_{S-T} - Q_{R19} = 0$$

$$\begin{aligned}
V: & \quad Q_{I-V} - Q_{V-U} - Q_{V-VI} = 0 \\
W: & \quad Q_{V-W} - Q_{W-X} - Q_{R23} = 0 \\
X: & \quad Q_{W-X} - Q_{X-Y} - Q_{R24} = 0 \\
VI: & \quad Q_{V-VI} - Q_{VI-Z} - Q_{VI-VII} = 0 \\
BB: & \quad Q_{AA-BB} - Q_{BB-CC} - Q_{R28} = 0 \\
CC: & \quad Q_{BB-CC} - Q_{CC-DD} - Q_{R29} = 0 \\
GG: & \quad Q_{FF-GG} - Q_{GG-HH} - Q_{R33} = 0 \\
HH: & \quad Q_{GG-HH} - Q_{HH-II} - Q_{R34} = 0
\end{aligned}$$

## 2. Ecuaciones de conservación de energía.

$$\begin{aligned}
R_3: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + (k'_{I-A} + k'_{A-B} + k'_{B-C})Q_{I-A} + (k'_{R3} + s'_{33})Q_{R3} = C - h_{e3}, \\
& \quad Q_{I-A} = Q_{A-B} = Q_{B-C} \\
R_4: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + (k'_{I-A} + k'_{A-B} + k'_{B-C})Q_{I-A} + k'_{C-D}Q_{C-D} + (k'_{R4} + s'_{44})Q_{R4} = C - h_{e4} \\
R_5: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + (k'_{I-A} + k'_{A-B} + k'_{B-C})Q_{I-A} + k'_{C-D}Q_{C-D} + (k'_{D-E} + k'_{R5} + s'_{55})Q_{D-E} \\
& \quad = C - h_{e5}, \quad Q_{D-E} = Q_{R5} \\
R_8: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + (k'_{II-F} + k'_{F-G} + k'_{G-H})Q_{II-F} + (k'_{R8} + s'_{88})Q_{R8} = C - h_{e8} \\
R_9: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + (k'_{II-F} + k'_{F-G} + k'_{G-H})Q_{II-F} + k'_{H-I}Q_{H-I} + (k'_{R9} + s'_{99})Q_{R9} \\
& \quad = C - h_{e9} \\
R_{10}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + (k'_{II-F} + k'_{F-G} + k'_{G-H})Q_{II-F} + k'_{H-I}Q_{H-I} + (k'_{I-J} + k'_{R10} \\
& \quad + s'_{10})Q_{I-J} = C - h_{e10}, \quad Q_{I-J} = Q_{R10} \\
R_{13}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + k'_{II-III}Q_{II-III} + (k'_{III-K} + k'_{K-L} + k'_{L-M})Q_{III-K} + (k'_{R13} \\
& \quad + s'_{13})Q_{R13} = C - h_{e13} \\
R_{14}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + k'_{II-III}Q_{II-III} + (k'_{III-K} + k'_{K-L} + k'_{L-M})Q_{III-K} + k'_{M-N}Q_{M-N} \\
& \quad + (k'_{R14} + s'_{14})Q_{R14} = C - h_{e14} \\
R_{15}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + k'_{II-III}Q_{II-III} + (k'_{III-K} + k'_{K-L} + k'_{L-M})Q_{III-K} + k'_{M-N}Q_{M-N} \\
& \quad + (k'_{N-O} + k'_{R15} + s'_{15})Q_{N-O} = C - h_{e15}, \quad Q_{N-O} = Q_{R15} \\
R_{18}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + k'_{II-III}Q_{II-III} + (k'_{III-IV} + k'_{IV-P} + k'_{P-Q} + k'_{Q-R})Q_{III-IV} \\
& \quad + (k'_{R18} + s'_{18})Q_{R18} = C - h_{e18} \\
R_{19}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + k'_{II-III}Q_{II-III} + (k'_{III-IV} + k'_{IV-P} + k'_{P-Q} + k'_{Q-R})Q_{III-IV} + \\
& \quad k'_{R-S}Q_{R-S} + (k'_{R19} + s'_{19})Q_{R19} = C - h_{e19} \\
R_{20}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-II}Q_{I-II} + k'_{II-III}Q_{II-III} + (k'_{III-IV} + k'_{IV-P} + k'_{P-Q} + k'_{Q-R})Q_{III-IV} + \\
& \quad k'_{R-S}Q_{R-S} + (k'_{S-T} + k'_{R20} + s'_{20})Q_{S-T} = C - h_{e20}, \quad Q_{S-T} = Q_{R20} \\
R_{23}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-V}Q_{I-V} + (k'_{V-U} + k'_{U-V} + k'_{V-W})Q_{V-U} + (k'_{R23} + s'_{23})Q_{R23} = C - h_{e23} \\
R_{24}: & \quad (k'_{Lin-I} - AQ_{Lin-I} - B)Q_{Lin-I} + k'_{I-V}Q_{I-V} + (k'_{V-U} + k'_{U-V} + k'_{V-W})Q_{V-U} + k'_{W-X}Q_{W-X} + (k'_{R24} \\
& \quad + s'_{24})Q_{R24} = C - h_{e24}
\end{aligned}$$

$$R_{25} : (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + (k'_{V-U} + k'_{U-V} + k'_{V-W}) Q_{V-U} + k'_{W-X} Q_{W-X} + (k'_{X-Y} + k'_{R25} + s'_{25}) Q_{X-Y} = C - h_{e25}, \quad Q_{X-Y} = Q_{R25}$$

$$R_{28} : (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-VI} Q_{V-VI} + (k'_{VI-Z} + k'_{Z-AA} + k'_{AA-BB}) Q_{VI-Z} + (k'_{R28} + s'_{28}) Q_{R28} = C - h_{e28}$$

$$R_{29} : (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-VI} Q_{V-VI} + (k'_{VI-Z} + k'_{Z-AA} + k'_{AA-BB}) Q_{VI-Z} + k'_{BB-CC} Q_{BB-CC} + (k'_{R29} + s'_{29}) Q_{R29} = C - h_{e29}$$

$$R_{30} : (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-VI} Q_{V-VI} + (k'_{VI-Z} + k'_{Z-AA} + k'_{AA-BB}) Q_{VI-Z} + k'_{BB-CC} Q_{BB-CC} + (k'_{CC-DD} + k'_{R30} + s'_{30}) Q_{BB-CC} = C - h_{e30}, \quad Q_{BB-CC} = Q_{R30}$$

$$R_{33} : (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-VI} Q_{V-VI} + (k'_{VI-VII} + k'_{VII-EE} + k'_{EE-FF} + k'_{FF-GG}) Q_{VI-VII} + (k'_{R33} + s'_{33}) Q_{R33} = C - h_{e33}$$

$$R_{34} : (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-VI} Q_{V-VI} + (k'_{VI-VII} + k'_{VII-EE} + k'_{EE-FF} + k'_{FF-GG}) Q_{VI-VII} + k'_{GG-HH} Q_{GG-HH} + (k'_{R34} + s'_{34}) Q_{R34} = C - h_{e34}$$

$$R_{35} : (k'_{Lin-I} - A Q_{Lin-I} - B) Q_{Lin-I} + k'_{I-V} Q_{I-V} + k'_{V-VI} Q_{V-VI} + (k'_{VI-VII} + k'_{VII-EE} + k'_{EE-FF} + k'_{FF-GG}) Q_{VI-VII} + k'_{GG-HH} Q_{GG-HH} + (k'_{HH-II} + k'_{R35} + s'_{35}) Q_{HH-II} = C - h_{e35}, \quad Q_{HH-II} = Q_{R35}$$

## CAPITULO VI

## SOLUCIÓN NUMÉRICA DE LAS ECUACIONES GOBERNANTES

## 6.1 Método Numérico

Existen muchos métodos que permiten resolver conjuntos no homogéneos de ecuaciones lineales, sin embargo, la eliminación de Gauss es el método que se utiliza en forma más amplia.

Un conjunto de N ecuaciones de la forma:

$$\begin{aligned} a_{1,1} x_1 + a_{1,2} x_2 + a_{1,3} x_3 + \dots a_{1,N} x_N &= y_1 \\ a_{2,1} x_1 + a_{2,2} x_2 + a_{2,3} x_3 + \dots a_{2,N} x_N &= y_2 \\ &\vdots \\ a_{N,1} x_1 + a_{N,2} x_2 + a_{N,3} x_3 + \dots a_{N,N} x_N &= y_N \end{aligned} \quad (6.1)$$

donde los  $a_{ij}$  son coeficientes, los  $x_i$  son las incógnitas y los  $y_i$  son términos conocidos llamados términos libres o independientes. En este caso, el número de incógnitas es igual al número de ecuaciones, que es la forma más usual de un conjunto de ecuaciones lineales.

Cuando al menos uno de los términos libres de la ecuación 6.1 es distinto de cero, se dice que el conjunto es no homogéneo. La eliminación de Gauss se aplica sólo al caso de los conjuntos no homogéneos de ecuaciones. No siempre puede ser fácil la solución de un conjunto de ecuaciones lineales, debido al hecho de que quizá no tenga solución única. Aunque tuviera una solución única, la solución calculada puede ser inexacta en el caso de un problema mal condicionado.

Sin embargo, se considerará un problema ideal en el que el conjunto de ecuaciones tiene una solución única y no aparece ninguna dificultad en el proceso de solución.

La eliminación de Gauss consiste en:

- la eliminación hacia delante, y
- la sustitución hacia atrás.

La eliminación hacia delante se lleva a cabo de la siguiente manera. La primera ecuación se multiplica por  $a_{2,1}/a_{1,1}$  y se le resta a la segunda ecuación para eliminar el primer término de la segunda; y de la misma forma, el primer término de las ecuaciones restantes,  $i > 2$ , se elimina restando la primera ecuación multiplicada por  $a_{i,1}/a_{1,1}$ . Así, las ecuaciones se deberían ver así:

$$\begin{aligned} a_{1,1} x_1 + a_{1,2} x_2 + a_{1,3} x_3 + \dots a_{1,N} x_N &= y_1 \\ a'_{2,2} x_2 + a'_{2,3} x_3 + \dots a'_{2,N} x_N &= y'_2 \\ &\vdots \\ a'_{N,2} x_2 + a'_{N,3} x_3 + \dots a'_{N,N} x_N &= y'_N \end{aligned} \quad (6.2)$$

donde:  $a'_{ij} = a_{ij} - (a_{i,1} / a_{1,1}) a_{1,j}$

Conviene observar que la primera ecuación no ha cambiado.

Enseguida, el segundo término de cada una de las ecuaciones, desde la tercera hasta la última,  $i > 2$ , se elimina restando la segunda ecuación multiplicada por  $a'_{1,2} / a'_{2,2}$ . Después de terminar este paso, se eliminan los terceros términos de las demás ecuaciones, de la cuarta a la última. Al finalizar este proceso de eliminación hacia delante, el conjunto de ecuaciones se verá de la forma siguiente:

$$\begin{array}{rcl}
 a_{1,1} x_1 + a_{1,2} x_2 + a_{1,3} x_3 + \dots + a_{1,N} x_N & = & y_1 \\
 a'_{2,2} x_2 + a'_{2,3} x_3 + \dots + a'_{2,N} x_N & = & y'_2 \\
 a''_{3,3} x_3 + \dots + a''_{3,N} x_N & = & y''_3 \\
 \vdots & & \vdots \\
 a^{(N-1)}_{N,N} x_N & = & y^{(N-1)}_N
 \end{array} \quad (6.3)$$

Los términos principales de cada una de las ecuaciones anteriores reciben el nombre de pivotes. Se podría normalizar cada una de las ecuaciones, dividiendo entre el coeficiente principal, pero esto no se utiliza en la eliminación de Gauss; la razón fundamental es que la normalización de las ecuaciones aumenta el tiempo total de cálculo.

El procedimiento de sustitución hacia atrás comienza con la última ecuación. Se obtiene la solución de  $x_N$  en la última ecuación:

$$x_N = y^{(N-1)}_N / a^{(N-1)}_{N,N}$$

Sucesivamente,

$$\begin{array}{l}
 x_{N-1} = [y^{(N-2)}_{N-1} - a^{(N-1)}_{N-1,N} x_N] / a^{(N-2)}_{N-1,N-1} \\
 \vdots \\
 x_1 = [y_1 - \sum_{j=2}^N a_{1,j} x_j] / a_{1,1}
 \end{array} \quad (6.4)$$

Con esto se completa la eliminación de Gauss.

La eliminación de Gauss se puede realizar escribiendo sólo los coeficientes y los lados derechos en una forma de arreglo. De hecho, esto es precisamente lo que hace el programa en la computadora. La expresión en forma de arreglo de la ecuación 6.1 es:

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & \dots & a_{1,N} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & \dots & a_{2,N} \\ \vdots & & & & \\ a_{N,1} & a_{N,2} & a_{N,3} & \dots & a_{N,N} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

Todas las etapas intermedias de la eliminación hacia delante se escriben en forma de arreglo.

El arreglo después de la eliminación hacia delante queda como

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & \dots & a_{1,N} \\ 0 & a'_{2,2} & a'_{2,3} & \dots & a'_{2,N} \\ 0 & 0 & a''_{3,3} & \dots & a''_{3,N} \\ \vdots & & & & \\ 0 & 0 & 0 & & a^{(N-1)}_{N,N} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y'_2 \\ y''_3 \\ \vdots \\ y^{(N-1)}_N \end{pmatrix} \quad (6.6)$$

## 6.2 Pruebas teóricas.

### 6.2.1 Prueba Teórica 1: Red Cerrada

Para probar la efectividad del cálculo se va a tomar un ejemplo aplicativo extraído de la página N° 354 del libro “Hidráulica de Tuberías”, cuyo autor es el Ing. Juan G. Saldarriaga.

En el texto mencionado el problema es resuelto por el método de la teoría lineal, para después ser comparado con el método lineal modificado (empleado en esta tesis). Los resultados de estos dos métodos permitirán determinar el método de cálculo más óptimo en relación a exactitud/tiempo.

La red mostrada en la Figura 6.1 tiene una válvula en la tubería 2-3, la cual se encuentra parcialmente cerrada y produce una pérdida menor local de  $10.0 v^2/2g$ , la presión en el punto 1 es 100mca. Analizar los caudales y presiones en la red. Los caudales están dados en l/s.

Se puede suponer que en todos los tubos, salvo en la tubería 2-3, las pérdidas menores son despreciables.

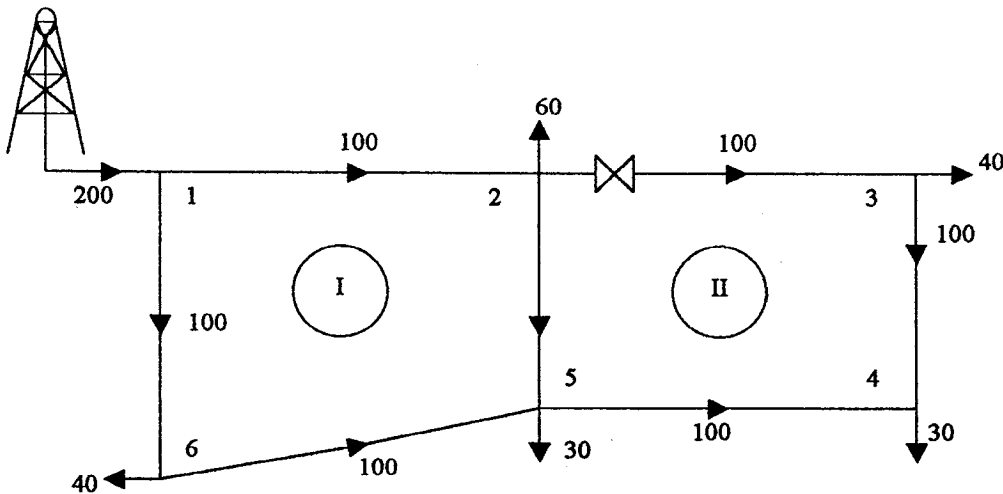


Figura 6.1

Los diámetros  $D$  y las longitudes  $L$  (en metros), así como el coeficiente de pérdidas menores  $k_m$  para cada una de las tuberías son los indicados en la siguiente tabla.

Tubería	$L$	$D$	$k_m$
1-2	500	0.254	0
1-6	300	0.254	0
2-3	400	0.1524	10
3-4	200	0.1016	0
5-4	400	0.1524	0
2-5	200	0.1016	0
5-6	600	0.2032	0

Para esta red se pueden plantear las siguientes ecuaciones:

1. Ecuaciones de continuidad en los nodos.

$$\begin{aligned}
 1: \quad & Q_{12} + Q_{16} = 0.2 \\
 2: \quad & Q_{12} - Q_{23} - Q_{25} = 0.06 \\
 3: \quad & Q_{23} - Q_{34} = 0.04 \\
 4: \quad & Q_{34} + Q_{45} = 0.03 \\
 5: \quad & Q_{25} + Q_{65} - Q_{45} = 0.03 \\
 6: \quad & Q_{16} - Q_{65} = 0.04 \text{ (Redundante)} \quad (6.4.1)
 \end{aligned}$$

2. Ecuaciones de conservación de energía.

$$\begin{aligned}
 \text{I:} \quad & k'_{12} Q_{12} + k'_{25} Q_{25} - k'_{56} Q_{56} - k'_{16} Q_{16} = 0 \\
 \text{II:} \quad & k'_{23} Q_{23} + k'_{34} Q_{34} - k'_{45} Q_{45} - k'_{25} Q_{25} = 0 \quad (6.4.2)
 \end{aligned}$$

3. Se ordena en forma matricial las ecuaciones de continuidad en los nudos (6.4.1) y de conservación de energía en los circuitos (6.4.2) de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\
 k'_{12} & -k'_{16} & 0 & 0 & 0 & k'_{25} & -k'_{56} \\
 0 & 0 & k'_{23} & k'_{34} & -k'_{45} & -k'_{25} & 0
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 Q_{12} \\
 Q_{16} \\
 Q_{23} \\
 Q_{34} \\
 Q_{45} \\
 Q_{25} \\
 Q_{56}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 0.2 \\
 0.06 \\
 0.04 \\
 0.03 \\
 0.03 \\
 0 \\
 0
 \end{pmatrix}$$

$[A] \quad \quad \quad [B] = [C]$

4. Con el caudal inicial supuesto de 100l/s ( $Q_{o\ ij\ (1)} = 0.1$ ) y con las direcciones mostradas en la Figura 6.1 se calculan los  $k'_{ij}$  para cada tubo de la red. (Cálculos iniciales)

Método  
Lineal

Tubería	$Q(m^3/s)$	RE	f	kf	km	k'
1-2	0.100	439715.27	0.0160	625.53	0	62.55
1-6	0.100	439715.27	0.0160	375.32	0	37.53
2-3	0.100	732858.79	0.0167	6730.11	1531.73	826.18
3-4	0.100	1099288.18	0.0178	27234.16	0	2723.42
5-4	0.100	732858.79	0.0167	6730.11	0	673.01
2-5	0.100	1099288.18	0.0178	27234.16	0	2723.42

5. Se reemplazan los valores de coeficientes de pérdidas  $k'_{ij}$  en la matriz [A] y se calculan los valores de  $Q_{ij\ (1)}$ .

$$\begin{pmatrix}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\
 62.55 & -37.53 & 0 & 0 & 0 & 2723.42 & -232.28 \\
 0 & 0 & 826.18 & 2723.42 & -673.01 & -2723.42 & 0
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 Q_{12} \\
 Q_{16} \\
 Q_{23} \\
 Q_{34} \\
 Q_{54} \\
 Q_{25} \\
 Q_{65}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 0.2 \\
 0.06 \\
 0.04 \\
 0.03 \\
 0.03 \\
 0 \\
 0
 \end{pmatrix}$$

Los resultados de la 1era. iteración para el vector  $Q_{ij\ (1)}$  son:

$$\begin{aligned}
 Q_{12(1)} &= 0.103 \\
 Q_{16(1)} &= 0.097 \\
 Q_{23(1)} &= 0.039 \\
 Q_{34(1)} &= -0.001 \\
 Q_{54(1)} &= 0.031 \\
 Q_{25(1)} &= 0.004 \\
 Q_{65(1)} &= 0.057
 \end{aligned}$$



6. Se corrigen los valores  $Q_{o\ ij}$ , utilizando la ecuación (5.15):

$$\begin{aligned}
 Q_{o\ 12(2)} &= 0.102 \\
 Q_{o\ 16(2)} &= 0.098 \\
 Q_{o\ 23(2)} &= 0.070 \\
 Q_{o\ 34(2)} &= 0.050 \\
 Q_{o\ 45(2)} &= 0.065 \\
 Q_{o\ 25(2)} &= 0.052 \\
 Q_{o\ 56(2)} &= 0.078
 \end{aligned}$$

7. Con los caudales corregidos se calculan los  $k'_{ij}$  para cada tubo de la red.

Tubería	$Q(m^3/s)$	RE	f	kf	km	k'
1-2	0.102	446786.06	0.01599	624.69	0	63.47
1-6	0.098	432644.48	0.01603	375.84	0	36.98
2-3	0.070	510839.14	0.01705	6855.09	1531.73	584.60
3-4	0.050	546401.08	0.01825	27857.26	0	1384.64
5-4	0.065	478520.22	0.01712	6881.52	0	449.33
2-5	0.052	570564.08	0.01822	27807.73	0	1443.31
6-5	0.078	430876.78	0.01651	2363.16	0	185.25

8. Se reemplazan los valores de coeficientes de pérdidas  $k'_{ij}$ , en la matriz [A] y se calculan los valores de  $Q_{ij(1)}$ .

$$\begin{pmatrix}
 -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\
 63.47 & -36.98 & 0 & 0 & 0 & 1443.31 & -185.25 \\
 0 & 0 & 584.60 & 1384.64 & -449.33 & -1443.31 & 0
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 Q_{12} \\
 Q_{16} \\
 Q_{23} \\
 Q_{34} \\
 Q_{54} \\
 Q_{25} \\
 Q_{65}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 0.2 \\
 0.06 \\
 0.04 \\
 0.03 \\
 0.03 \\
 0 \\
 0
 \end{pmatrix}$$

Los resultados de la 2da. iteración para el vector  $Q_{ij(1)}$  son:

$$\begin{aligned}
 Q_{12(2)} &= 0.104 \\
 Q_{16(2)} &= 0.096 \\
 Q_{23(2)} &= 0.039 \\
 Q_{34(2)} &= -0.001 \\
 Q_{54(2)} &= 0.031 \\
 Q_{25(2)} &= 0.005 \\
 Q_{65(2)} &= 0.056
 \end{aligned}$$

9. Se corrigen los valores  $Q_{o\ ij}$ , utilizando la ecuación (5.15):

$$\begin{aligned}
 Q_{o\ 12(3)} &= 0.103 \\
 Q_{o\ 16(3)} &= 0.097 \\
 Q_{o\ 23(3)} &= 0.054 \\
 Q_{o\ 34(3)} &= 0.024 \\
 Q_{o\ 45(3)} &= 0.048 \\
 Q_{o\ 25(3)} &= 0.028 \\
 Q_{o\ 56(3)} &= 0.067
 \end{aligned}$$

10. Se repiten los pasos 7, 8 y 9 hasta que los  $Q_{ij}$  sean todos lo suficientemente parecidos en dos iteraciones sucesivas.

De esta manera se obtienen los resultados que a continuación se muestran:

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Iteración					
	3era.	4ta.	5ta.	6ta.	7ma.	8va.
$Q_{12}$	0.1050	0.1059	0.1063	0.1063	0.1062	0.1062
$Q_{16}$	0.0950	0.0941	0.0937	0.0937	0.0938	0.0938
$Q_{23}$	0.0382	0.0373	0.0365	0.0361	0.0358	0.0358
$Q_{34}$	-0.0018	-0.0027	-0.0035	-0.0039	-0.0042	-0.0042
$Q_{54}$	0.0318	0.0327	0.0335	0.0339	0.0342	0.0342
$Q_{25}$	0.0068	0.0086	0.0098	0.0102	0.0104	0.0104
$Q_{65}$	0.0550	0.0541	0.0537	0.0537	0.0538	0.0538

De donde los caudales definitivos son los de la 8va. iteración, hace falta entonces analizar las variaciones de presión en los nudos de la red.

Para el nudo 1 por dato se tiene que la presión en este punto es de 100 m.c.a.

Por ejemplo para el nudo 2:

$$H_2 = H_1 - (k_f + k_m) Q_{12}^2$$

$$H_2 = 100 - (622.48 + 0) (0.106)^2$$

$$H_2 = 93.01 \text{ m.c.a.}$$

De la misma manera se procede para los nudos restantes, dando como resultados los siguientes:

$$H_3 = 81.84 \text{ m.c.a.}$$

$$H_4 = 82.42 \text{ m.c.a.}$$

$$H_5 = 89.88 \text{ m.c.a.}$$

$$H_6 = 96.67 \text{ m.c.a.}$$

En la sección 5.3.1 se señala otro procedimiento, que ayuda a obtener resultados de mayor precisión en menor tiempo. La aplicación de este método se demuestra a continuación:

Los pasos 1, 2 y 3 son los mismos que en el método lineal.

4. Se asumen valores de coeficientes de pérdidas  $k'_{ij(1)} = 100$ , que van a ser reemplazados en la matriz  $[A]$  se calculan los  $Q_{ij(1)}$  para cada tubo de la red.

Método  
Lineal  
modificado

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 100 & -100 & 0 & 0 & 0 & 100 & -100 \\ 0 & 0 & 100 & 100 & -100 & -100 & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} Q_{12} \\ Q_{16} \\ Q_{23} \\ Q_{34} \\ Q_{54} \\ Q_{25} \\ Q_{65} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.06 \\ 0.04 \\ 0.03 \\ 0.03 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Los resultados de la 1era. iteración para el vector  $Q_{ij(1)}$  son:

$$\begin{aligned}
 Q_{12(1)} &= 0.115 \\
 Q_{16(1)} &= 0.085 \\
 Q_{23(1)} &= 0.041 \\
 Q_{34(1)} &= 0.001 \\
 Q_{54(1)} &= 0.029 \\
 Q_{25(1)} &= 0.014 \\
 Q_{65(1)} &= 0.045
 \end{aligned}$$

5. Con los caudales se calculan los  $k'_{ij}$  para cada tubo de la red.

Tubería	$Q(m^3/s)$	RE	f	kf	km	k'
1-2	0.115	507138.28	0.01582	618.31	0	71.31
1-6	0.085	372292.26	0.01625	380.91	0	32.25
2-3	0.041	302914.97	0.01767	7105.15	1531.73	356.99
3-4	0.001	14657.18	0.02917	44527.17	0	59.37
5-4	0.029	210086.19	0.01826	7341.10	0	210.44
2-5	0.014	153900.35	0.01985	30304.59	0	424.26
6-5	0.045	245507.69	0.01737	2485.39	0	111.01

6. Se corrigen los valores  $k_{oij}$ , utilizando la ecuación (5.15'):

$$\begin{aligned}
 k_{o12(2)} &= 85.66 \\
 k_{o16(2)} &= 66.13 \\
 k_{o23(2)} &= 228.50 \\
 k_{o34(2)} &= 79.68 \\
 k_{o45(2)} &= 155.22 \\
 k_{o25(2)} &= 262.13 \\
 k_{o56(2)} &= 105.51
 \end{aligned}$$

7. Se reemplazan los valores de coeficientes de pérdidas  $k'_{ij}$ , en la matriz [A] y se calculan los valores de  $Q_{ij(1)}$ .

$$\begin{pmatrix}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\
 85.66 & -66.13 & 0 & 0 & 0 & 262.13 & -105.507 \\
 0 & 0 & 228.50 & 79.68 & -155.222 & -262.132 & 0
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 Q_{12} \\
 Q_{16} \\
 Q_{23} \\
 Q_{34} \\
 Q_{54} \\
 Q_{25} \\
 Q_{65}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 0.2 \\
 0.06 \\
 0.04 \\
 0.03 \\
 0.03 \\
 0 \\
 0
 \end{pmatrix}$$

Los resultados de la 2da. iteración para el vector  $Q_{ij(1)}$  son:

$$\begin{aligned}
 Q_{12(2)} &= 0.106 \\
 Q_{16(2)} &= 0.094 \\
 Q_{23(2)} &= 0.036 \\
 Q_{34(2)} &= -0.004 \\
 Q_{54(2)} &= 0.034 \\
 Q_{25(2)} &= 0.010 \\
 Q_{65(2)} &= 0.054
 \end{aligned}$$

8. Se repiten los pasos 5, 6 y 7 hasta que los  $Q_{ij}$  sean todos lo suficientemente parecidos en dos iteraciones sucesivas.

De esta manera se obtienen los resultados que a continuación se muestran:

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Iteración	
	3era.	4ta.
$Q_{12}$	0.1062	0.1062
$Q_{16}$	0.0938	0.0938
$Q_{23}$	0.0358	0.0358
$Q_{34}$	-0.0042	-0.0042
$Q_{54}$	0.0342	0.0342
$Q_{25}$	0.0104	0.0104
$Q_{65}$	0.0538	0.0538

Como se puede observar no existe diferencia entre los resultados obtenidos en la 3era. y 4ta. Iteración, por lo que éstos últimos son los definitivos.

### 6.2.2 Prueba Teórica 2: Red Abierta

A continuación, un ejemplo sencillo en el que se aplicará, el método lineal modificado para el caso de un sistema hipotético de 4 rociadores.

La red abierta mostrada en la Figura 6.2 tiene las siguientes características:

Diámetro	Inch	Longitud	Metros
$d_1$	2.5	$L_1$	10
$d_2$	1.25	$L_2$	10
$d_3$	1.25	$L_3$	10
$d_4$	2.5	$L_4$	10
$d_5$	1.25	$L_5$	10
$d_6$	1.25	$L_6$	10

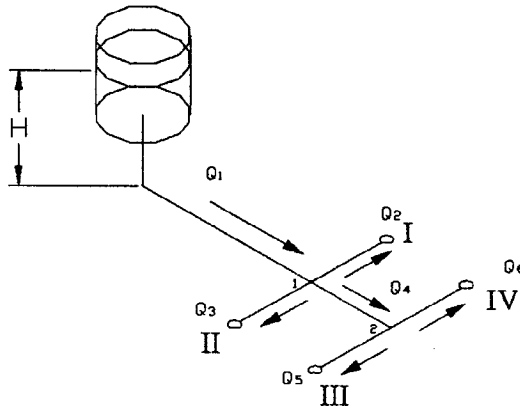


Figura 6.2

Sea  $H=18\text{m}$ . y

$h_i = S_i Q_{Ri}^2$ , donde  $S_i$  = constante del rociador

$$S_i = \frac{1}{2g a_i^2 C_d^2}$$

$a$  = área del agujero de descarga

$C_d$  = coeficiente de descarga

Y además;

$$\begin{aligned} e(\text{tubería}) &= 0.000046 \text{ m} \\ \text{Viscosidad} &= 0.000001308 \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

Analizar los caudales en la red.

Para esta red se pueden plantear las siguientes ecuaciones:

1. Ecuaciones de continuidad en los nodos.

$$\begin{array}{lll}
 1: & Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4 & = 0 \\
 2: & Q_4 - Q_5 - Q_6 & = 0
 \end{array}$$

2. Ecuaciones de conservación de energía. Planteando las ecuaciones de energía y luego linealizando las mismas tenemos

$$\text{I: } k'_{11} Q_1 + k'_{22} Q_2 + k'_{R2} Q_2 = H$$

$$\text{II: } k'_{11} Q_1 + k'_{33} Q_3 + k'_{R3} Q_3 = H$$

$$\text{III: } k'_{11} Q_1 + k'_{44} Q_4 + k'_{55} Q_5 + k'_{R5} Q_5 = H$$

$$\text{IV: } k'_{11} Q_1 + k'_{44} Q_4 + k'_{66} Q_6 + k'_{R6} Q_6 = H$$

3. Al igual que en la prueba teórica 1, se construye la matriz y se asumen valores de coeficientes de pérdidas  $k'_{o,ij(1)} = 1000$ , que van a ser reemplazados en la matriz [A] para calcular los  $Q_{ij(1)}$  para cada tubo de la red.

$$\begin{pmatrix}
 1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\
 1000 & 1000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1000 & 0 & 1000 & 0 & 0 & 0 \\
 1000 & 0 & 0 & 1000 & 1000 & 0 \\
 1000 & 0 & 0 & 1000 & 0 & 1000
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 Q_1 \\
 Q_2 \\
 Q_3 \\
 Q_4 \\
 Q_5 \\
 Q_6
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 0 \\
 0 \\
 18 \\
 18 \\
 18 \\
 18
 \end{pmatrix}$$

Los resultados de la 1era. iteración para el vector  $Q_{ij(1)}$  son:

$$Q_{1(1)} = 0.0131$$

$$Q_{2(1)} = 0.0049$$

$$Q_{3(1)} = 0.0049$$

$$Q_{4(1)} = 0.0033$$

$$Q_{5(1)} = 0.0016$$

$$Q_{6(1)} = 0.0016$$

4. Con los caudales se calculan los  $k'_{ij}$  para cada tubo de la red.

5. Se corrigen los valores  $k_{o,ij}$ , utilizando la ecuación (5.15'):

$$k_{o1(2)} = 209.78$$

$$k_{o2(2)} = 90517.39$$

$$k_{o3(2)} = 90517.39$$

$$k_{o4(2)} = 61.13$$

$$k_{o5(2)} = 30266.94$$

$$k_{o6(2)} = 30266.94$$

6. Se reemplazan los valores de coeficientes de pérdidas  $k'_{ij}$  en la matriz  $[A]$  y se calculan los valores de  $Q_{ij(1)}$ .

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 209.78 & 90517.39 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 209.78 & 0 & 90517.39 & 0 & 0 & 0 \\ 209.78 & 0 & 0 & 61.13 & 30266.94 & 0 \\ 209.78 & 0 & 0 & 61.13 & 0 & 30266.94 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 18 \\ 18 \\ 18 \\ 18 \end{pmatrix}$$

Los resultados de la 2da. iteración para el vector  $Q_{ij(1)}$  son:

$$Q_{1(2)} = 0.0027$$

$$Q_{2(2)} = 0.0004$$

$$Q_{3(2)} = 0.0004$$

$$Q_{4(2)} = 0.0020$$

$$Q_{5(2)} = 0.0010$$

$$Q_{6(2)} = 0.0010$$

7. Se repiten los pasos 4, 5 y 6 hasta que los  $Q_{ij}$  sean todos lo suficientemente parecidos en dos iteraciones sucesivas.

De esta manera se obtienen los resultados que a continuación se muestran:



Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Iteración	
	5ta.	6ta.
Q <sub>1</sub>	0.0039	0.0039
Q <sub>2</sub>	0.0010	0.0010
Q <sub>3</sub>	0.0010	0.0010
Q <sub>4</sub>	0.0020	0.0020
Q <sub>5</sub>	0.0010	0.0010
Q <sub>6</sub>	0.0010	0.0010

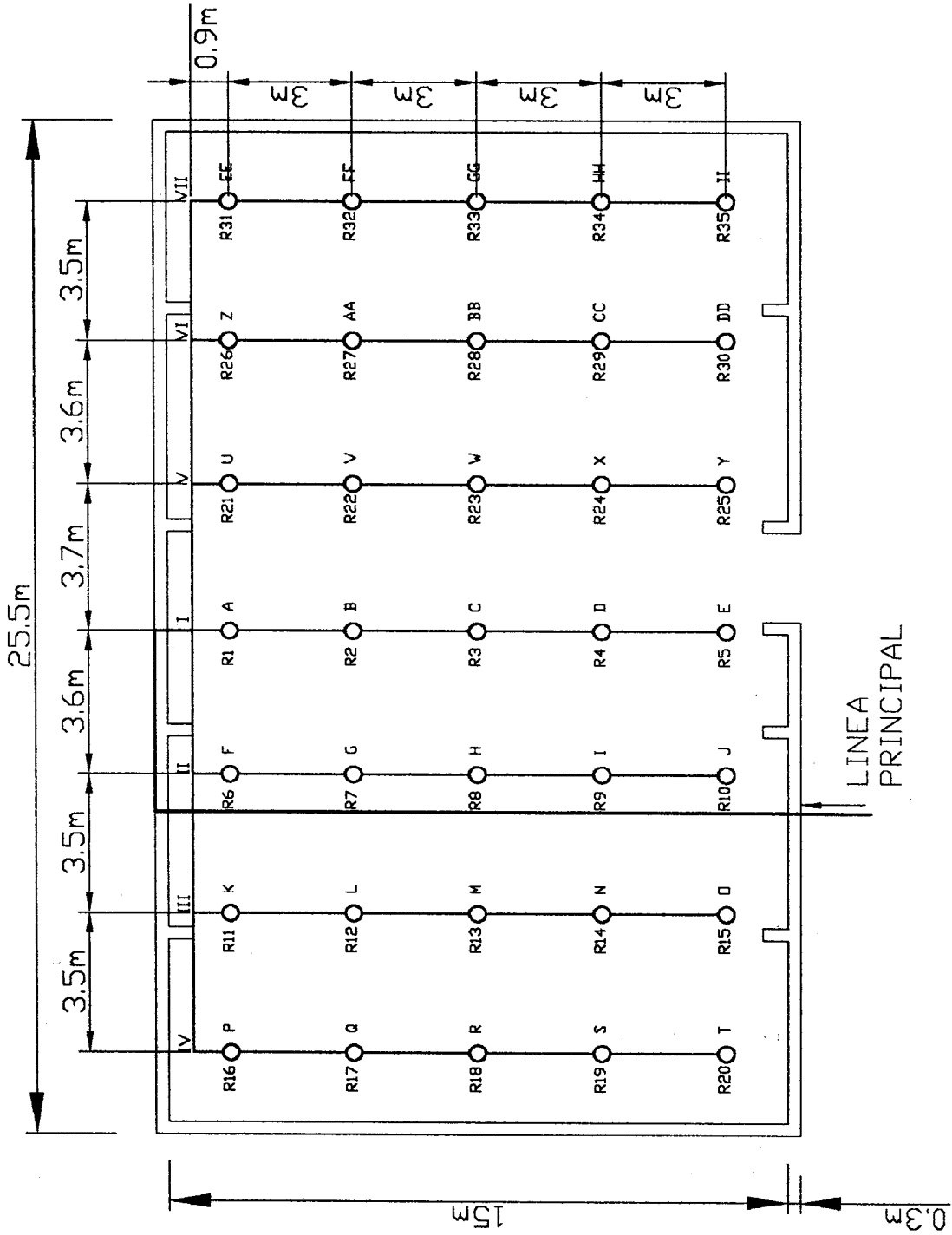
Como se puede observar no existe diferencia entre los resultados obtenidos en la 5ta. y 6ta. Iteración, por lo que éstos últimos son los definitivos.

## **CAPITULO VII**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **7.1 Resultados**

En las páginas siguientes se presentarán los resultados obtenidos para dos casos que serán discutidos posteriormente en la sección 7.2



# **RESULTADOS 1**

## **ROCIADORES DE ½ ”**

FAVORABLE-DATOS

Curva característica de la bomba a usar:

a1 = -153255

a2 = 817.36

a3 = 98.083

Característica de la red de tuberías:

Número de tuberías ..... 27

Rugosidad relativa del acero ..... 0.000046

Altura estática ..... 6.5

Grado de inclinación del techo (°) ..... 2

Característica del agua:

Viscosidad dinámica del agua ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ..... 0.000001308

FAVORABLE-DATOS

## TUBERÍAS

Presione ENTER después de ingresar cada valor

Nº	Tub.	L(m)	D(m)	km
1	Lin-I 1T	72.5	0.1524	5.3
2	Lin-I 2T	183	0.1016	4.1
3	I-A	0.9	0.0381	0.38
4	A-B	3	0.0381	0.38
5	B-C	3	0.0381	0.38
6	C-D	3	0.0381	0.38
7	D-E	3	0.0381	0.38
8	I-II	3.6	0.0508	0.38
9	II-F	0.9	0.0381	0.38
10	F-G	3	0.0381	0.38
11	G-H	3	0.0381	0.38
12	H-I	3	0.0381	0.38
13	II-III	3.5	0.0508	0.38
14	III-K	0.9	0.0381	0.38
15	K-L	3	0.0381	0.38
16	L-M	3	0.0381	0.38
17	M-N	3	0.0381	0.38
18	I-V	3.7	0.0508	0.38
19	V-U	0.9	0.0381	0.38
20	U-V	3	0.0381	0.38
21	V-W	3	0.0381	0.38
22	W-X	3	0.0381	0.38
23	V-VI	3.6	0.0508	0.38
24	VI-Z	0.9	0.0381	0.38
25	Z-AA	3	0.0381	0.38
26	AA-BB	3	0.0381	0.38
27	BB-CC	3	0.0381	0.38

FAVORABLE-DATOS

## ROCIADORES

Presione ENTER después de ingresar cada valor

Diámetro de la vela (m).....	0.0254
Longitud de la vela (m) .....	0.3
Diámetro del rociador (m) .....	0.0127
Coeficiente de descarga del rociador(Cd) .....	0.8
Coeficiente de pérdidas (km) .....	0.21
Número de rociadores a utilizar .....	21

FAVORABLE-RESULTADOS

## TUBERÍAS

Tub.	Q (m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
Lin-I 1T	0.02325	1.27	0.76	0.44	259.82
Lin-I 2T	0.02325	2.87	14.66	1.72	95.87
I - A	0.00565	4.95	0.67	0.48	76.17
A - B	0.00434	3.80	1.33	0.28	64.42
B - C	0.00316	2.77	0.72	0.15	58.21
C - D	0.00207	1.82	0.33	0.06	55.56
D - E	0.00102	0.90	0.09	0.02	54.75
I - II	0.00881	4.35	1.44	0.37	72.85
II - F	0.00444	3.90	0.42	0.29	67.38
F - G	0.00324	2.84	0.76	0.16	60.93
G - H	0.00212	1.86	0.34	0.07	58.20
H - I	0.00105	0.92	0.09	0.02	57.41
II - III	0.00437	2.15	0.37	0.09	75.51
III - K	0.00437	3.83	0.41	0.09	65.30
K - L	0.00318	2.79	0.73	0.15	59.02
L - M	0.00209	1.83	0.33	0.06	56.34
M - N	0.00103	0.91	0.09	0.02	55.54
I - V	0.00879	4.34	1.47	0.36	72.59
V - U	0.00443	3.89	0.42	0.29	67.13
U - V	0.00323	2.83	0.76	0.16	60.70
V - W	0.00212	1.86	0.34	0.07	57.97
W - X	0.00105	0.92	0.09	0.02	57.18
V - VI	0.00436	2.15	0.37	0.09	75.13
VI - Z	0.00436	3.82	0.41	0.09	64.97
Z - AA	0.00317	2.78	0.73	0.15	58.72
AA - BB	0.00208	1.82	0.33	0.06	56.05
BB - CC	0.00103	0.90	0.09	0.02	55.25

Hf = Pérdida por fricción en la tubería

Hm = Pérdidas debido a accesorios



FAVORABLE-RESULTADOS

## ROCIADORES

Rociador	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
R1	0.00131	12.94	0.11	0.07	83.75
R2	0.00118	11.60	0.09	0.06	67.29
R3	0.00109	10.76	0.07	0.05	57.89
R4	0.00104	10.31	0.07	0.05	53.14
R5	0.00102	10.11	0.07	0.04	51.13
R6	0.00120	11.88	0.09	0.06	70.55
R7	0.00112	11.02	0.08	0.05	60.74
R8	0.00107	10.56	0.07	0.05	55.81
R9	0.00105	10.37	0.07	0.05	53.75
R11	0.00118	11.68	0.09	0.06	68.26
R12	0.00110	10.84	0.08	0.05	58.73
R13	0.00105	10.39	0.07	0.05	53.82
R14	0.00103	10.19	0.07	0.04	51.91
R21	0.00120	11.85	0.09	0.06	70.27
R22	0.00111	11.00	0.08	0.05	60.49
R23	0.00107	10.54	0.07	0.05	55.58
R24	0.00105	10.35	0.07	0.05	53.53
R26	0.00118	11.65	0.09	0.06	67.90
R27	0.00110	10.81	0.08	0.05	58.42
R28	0.00105	10.36	0.07	0.05	53.64
R29	0.00103	10.16	0.07	0.04	51.62

Hf = Pérdida por fricción en la vela

Hm = Pérdidas debido a accesorios

DESFAVORABLE-DATOS

Curva característica de la bomba a usar:	a1	-153255
	a2	817.36
	a3	98.083

## Característica de la red de tuberías:

Número de tuberías .....	43
Rugosidad relativa del acero .....	0.000046
Altura estática .....	6.5
Grado de inclinación del techo (°) .....	2

## Característica del agua:

Viscosidad dinámica del agua ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) .....	0.000001308
--	-------------

DESFAVORABLE-DATOS

## TUBERÍAS

Nº	Tub.	L(m)	D(m)	km
1	Lin-I 1T	72.5	0.1524	5.3
2	Lin-I 2T	183	0.1016	4.1
3	I-A	0.9	0.0381	0.38
4	A-B	3	0.0381	0.38
5	B-C	3	0.0381	0.38
6	C-D	3	0.0381	0.38
7	D-E	3	0.0381	0.38
8	I-II	3.6	0.0508	0.38
9	II-F	0.9	0.0381	0.38
10	F-G	3	0.0381	0.38
11	G-H	3	0.0381	0.38
12	H-I	3	0.0381	0.38
13	I-J	3	0.0381	0.38
14	II-III	3.5	0.0508	0.38
15	III-K	0.9	0.0381	0.38
16	K-L	3	0.0381	0.38
17	L-M	3	0.0381	0.38
18	M-N	3	0.0381	0.38
19	N-O	3	0.0381	0.38
20	III-IV	3.5	0.0508	0.38
21	IV-P	0.9	0.0381	0.38
22	P-Q	3	0.0381	0.38
23	Q-R	3	0.0381	0.38
24	R-S	3	0.0381	0.38
25	S-T	3	0.0381	0.38
26	I-V	3.7	0.0508	0.38
27	V-U	0.9	0.0381	0.38
28	U-V	3	0.0381	0.38
29	V-W	3	0.0381	0.38
30	W-X	3	0.0381	0.38
31	X-Y	3	0.0381	0.38
32	V-VI	3.6	0.0508	0.38
33	VI-Z	0.9	0.0381	0.38
34	Z-AA	3	0.0381	0.38
35	AA-BB	3	0.0381	0.38

DESFAVORABLE-DATOS

Nº	Tub.	L(m)	D(m)	km
36	BB-CC	3	0.0381	0.38
37	CC-DD	3	0.0381	0.38
38	VI-VII	3.5	0.0508	0.38
39	VII-EE	0.9	0.0381	0.38
40	EE-FF	3	0.0381	0.38
41	FF-GG	3	0.0381	0.38
42	GG-HH	3	0.0381	0.38
43	HH-II	3	0.0381	0.38

DESFAVORABLE-DATOS

## ROCIADORES

Presione ENTER después de ingresar cada valor

Diámetro de la vela (m).....	0.0254
Longitud de la vela (m) .....	0.3
Diámetro del rociador (m) .....	0.012700
Coeficiente de descarga del rociador(Cd) .....	0.8
Coeficiente de pérdidas (km) .....	0.21
Número de rociadores a utilizar .....	21

DESFAVORABLE-RESULTADOS

## TUBERÍAS

Tub.	Q (m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
Lin-I 1T	0.02303	1.26	0.75	0.43	273.22
Lin-I 2T	0.02303	2.84	14.40	1.69	112.17
I - A	0.00374	3.28	0.30	0.21	105.51
A - B	0.00374	3.28	1.00	0.21	92.64
B - C	0.00374	3.28	1.00	0.21	79.78
C - D	0.00245	2.15	0.45	0.09	76.54
D - E	0.00122	1.07	0.12	0.02	75.86
I - II	0.00966	4.77	1.72	0.44	83.69
II - F	0.00335	2.94	0.25	0.17	86.35
F - G	0.00335	2.94	0.81	0.17	75.71
G - H	0.00335	2.94	0.81	0.17	65.08
H - I	0.00220	1.93	0.36	0.07	62.24
I - J	0.00109	0.96	0.10	0.02	61.47
II - III	0.00631	3.11	0.73	0.19	81.16
III - K	0.00318	2.79	0.22	0.15	78.16
K - L	0.00318	2.79	0.73	0.15	68.48
L - M	0.00318	2.79	0.73	0.15	58.79
M - N	0.00208	1.83	0.33	0.06	56.12
N - O	0.00103	0.90	0.09	0.02	55.32
III - IV	0.00313	1.54	0.20	0.05	82.44
IV - P	0.00313	2.74	0.22	0.15	76.01
P - Q	0.00313	2.74	0.71	0.15	66.58
Q - R	0.00313	2.74	0.71	0.15	57.15
R - S	0.00205	1.80	0.32	0.06	54.52
S - T	0.00101	0.89	0.09	0.02	53.71
I - V	0.00963	4.75	1.75	0.44	83.41
V - U	0.00335	2.94	0.25	0.17	86.03
U - V	0.00335	2.94	0.81	0.17	75.43
V - W	0.00335	2.94	0.81	0.17	64.83
W - X	0.00219	1.92	0.36	0.07	62.00
X - Y	0.00109	0.95	0.10	0.02	61.23
V - VI	0.00629	3.10	0.75	0.19	80.69
VI - Z	0.00317	2.78	0.22	0.15	77.71
Z - AA	0.00317	2.78	0.73	0.15	68.07
AA - BB	0.00317	2.78	0.73	0.15	58.44
BB - CC	0.00207	1.82	0.33	0.06	55.79
CC - DD	0.00103	0.90	0.09	0.02	54.98
VI - VII	0.00312	1.54	0.19	0.05	81.97

DESFAVORABLE-RESULTADOS

Tub.	Q (m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf(m)	Hm (m)	P (Kpa)
VII - EE	0.00312	2.74	0.21	0.14	75.57
EE- FF	0.00312	2.74	0.71	0.14	66.19
FF - GG	0.00312	2.74	0.71	0.14	56.81
GG - HH	0.00204	1.79	0.32	0.06	54.20
H H - II	0.00101	0.89	0.09	0.02	53.38

Hf = Pérdida por fricción en la tubería

Hm = Pérdidas debido a accesorios

DESFAVORABLE-RESULTADOS

## ROCIADORES

Rociador	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
R3	0.00129	12.69	0.10	0.07	80.53
R4	0.00124	12.19	0.09	0.06	74.36
R5	0.00122	12.00	0.09	0.06	71.97
R8	0.00116	11.41	0.08	0.06	65.09
R9	0.00111	10.94	0.08	0.05	59.89
R10	0.00109	10.75	0.07	0.05	57.76
R13	0.00110	10.82	0.08	0.05	58.50
R14	0.00105	10.36	0.07	0.05	53.71
R15	0.00103	10.17	0.07	0.04	51.69
R18	0.00108	10.66	0.07	0.05	56.77
R19	0.00103	10.21	0.07	0.04	52.09
R20	0.00101	10.01	0.07	0.04	50.10
R23	0.00115	11.39	0.08	0.06	64.84
R24	0.00111	10.92	0.08	0.05	59.65
R25	0.00109	10.73	0.07	0.05	57.53
R28	0.00109	10.78	0.08	0.05	58.13
R29	0.00105	10.33	0.07	0.05	53.37
R30	0.00103	10.13	0.07	0.04	51.36
R33	0.00108	10.62	0.07	0.05	56.42
R34	0.00103	10.17	0.07	0.04	51.76
R35	0.00101	9.98	0.06	0.04	49.78

Hf = Pérdida por fricción en la vela

Hm = Pérdidas debido a accesorios



# **RESULTADOS 2**

## **ROCIADORES DE 3/8 ”**

FAVORABLE-DATOS

Curva característica de la bomba a usar:

a1 = -153255  
a2 = 817.36  
a3 = 98.083

Característica de la red de tuberías:

Número de tuberías .....	27
Rugosidad relativa del acero .....	0.000046
Altura estática .....	6.5
Grado de inclinación del techo (°) .....	2

Característica del agua:

Viscosidad dinámica del agua (m <sup>2</sup> /s) .....	0.000001308
--	-------------

FAVORABLE-DATOS

## TUBERÍAS

Presione ENTER después de ingresar cada valor

Nº	Tub.	L(m)	D(m)	km
1	Lin-I 1T	72.5	0.1524	5.3
2	Lin-I 2T	183	0.1016	4.1
3	I-A	0.9	0.0381	0.38
4	A-B	3	0.0381	0.38
5	B-C	3	0.0381	0.38
6	C-D	3	0.0381	0.38
7	D-E	3	0.0381	0.38
8	I-II	3.6	0.0508	0.38
9	II-F	0.9	0.0381	0.38
10	F-G	3	0.0381	0.38
11	G-H	3	0.0381	0.38
12	H-I	3	0.0381	0.38
13	II-III	3.5	0.0508	0.38
14	III-K	0.9	0.0381	0.38
15	K-L	3	0.0381	0.38
16	L-M	3	0.0381	0.38
17	M-N	3	0.0381	0.38
18	I-V	3.7	0.0508	0.38
19	V-U	0.9	0.0381	0.38
20	U-V	3	0.0381	0.38
21	V-W	3	0.0381	0.38
22	W-X	3	0.0381	0.38
23	V-VI	3.6	0.0508	0.38
24	VI-Z	0.9	0.0381	0.38
25	Z-AA	3	0.0381	0.38
26	AA-BB	3	0.0381	0.38
27	BB-CC	3	0.0381	0.38

FAVORABLE-DATOS

ROCIADORES

Presione ENTER después de ingresar cada valor

Diámetro de la vela (m).....	0.0254
Longitud de la vela (m) .....	0.3
Diámetro del rociador (m) .....	0.009525
Coefficiente de descarga del rociador(Cd) .....	0.8
Coefficiente de pérdidas (km) .....	0.21
Número de rociadores a utilizar .....	21

FAVORABLE-RESULTADOS

## TUBERÍAS

Tub.	Q (m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
Lin-I 1T	0.02184	1.20	0.68	0.39	345.06
Lin-I 2T	0.02184	2.69	13.02	1.52	199.58
I - A	0.00524	4.59	0.58	0.41	182.65
A - B	0.00413	3.62	1.21	0.25	171.27
B - C	0.00307	2.69	0.68	0.14	165.09
C - D	0.00203	1.78	0.31	0.06	162.40
D - E	0.00101	0.89	0.09	0.02	161.57
I - II	0.00831	4.10	1.28	0.33	179.03
II - F	0.00417	3.65	0.37	0.26	174.25
F - G	0.00309	2.71	0.70	0.14	167.98
G - H	0.00205	1.80	0.32	0.06	165.27
H - I	0.00102	0.90	0.09	0.02	164.44
II - III	0.00414	2.04	0.33	0.08	181.31
III - K	0.00414	3.63	0.37	0.08	172.09
K - L	0.00307	2.70	0.69	0.14	165.89
L - M	0.00204	1.79	0.32	0.06	163.19
M - N	0.00102	0.89	0.09	0.02	162.36
I - V	0.00830	4.09	1.32	0.32	178.73
V - U	0.00416	3.65	0.37	0.26	173.95
U - V	0.00309	2.71	0.70	0.14	167.70
V - W	0.00205	1.80	0.32	0.06	164.98
W - X	0.00102	0.90	0.09	0.02	164.15
V - VI	0.00414	2.04	0.34	0.08	180.91
VI - Z	0.00414	3.63	0.37	0.08	171.71
Z - AA	0.00307	2.69	0.69	0.14	165.52
AA - BB	0.00204	1.79	0.32	0.06	162.83
BB - CC	0.00101	0.89	0.09	0.02	162.00

Hf = Pérdida por fricción en la tubería

Hm = Pérdidas debido a accesorios

FAVORABLE-RESULTADOS

## ROCIADORES

Rociador	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
R1	0.00111	19.44	0.08	0.05	189.00
R2	0.00106	18.64	0.07	0.05	173.72
R3	0.00103	18.15	0.07	0.04	164.66
R4	0.00102	17.89	0.07	0.04	159.97
R5	0.00101	17.77	0.07	0.04	157.96
R6	0.00107	18.80	0.07	0.05	176.80
R7	0.00104	18.31	0.07	0.05	167.60
R8	0.00103	18.05	0.07	0.04	162.85
R9	0.00102	17.93	0.07	0.04	160.82
R11	0.00107	18.69	0.07	0.05	174.57
R12	0.00104	18.19	0.07	0.04	165.47
R13	0.00102	17.93	0.07	0.04	160.43
R14	0.00102	17.82	0.07	0.04	158.75
R21	0.00107	18.79	0.07	0.05	176.49
R22	0.00104	18.29	0.07	0.05	167.31
R23	0.00103	18.03	0.07	0.04	162.56
R24	0.00102	17.92	0.07	0.04	160.54
R26	0.00106	18.66	0.07	0.05	174.18
R27	0.00104	18.17	0.07	0.04	165.10
R28	0.00102	17.91	0.07	0.04	160.40
R29	0.00101	17.80	0.07	0.04	158.39

Hf = Pérdida por fricción en la vela

Hm = Pérdidas debido a accesorios

DESFAVORABLE-DATOS

Curva característica de la bomba a usar:	a1	-153255
	a2	817.36
	a3	98.083
Característica de la red de tuberías:		
Número de tuberías .....	43	
Rugosidad relativa del acero .....	0.000046	
Altura estática .....	6.5	
Grado de inclinación del techo (°) .....	2	
Característica del agua:		
Viscosidad dinámica del agua ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) .....	0.000001308	

DESFAVORABLE-DATOS

## TUBERÍAS

Nº	Tub.	L(m)	D(m)	km
1	Lin-I 1T	72.5	0.1524	5.3
2	Lin-I 2T	183	0.1016	4.1
3	I-A	0.9	0.0381	0.38
4	A-B	3	0.0381	0.38
5	B-C	3	0.0381	0.38
6	C-D	3	0.0381	0.38
7	D-E	3	0.0381	0.38
8	I-II	3.6	0.0508	0.38
9	II-F	0.9	0.0381	0.38
10	F-G	3	0.0381	0.38
11	G-H	3	0.0381	0.38
12	H-I	3	0.0381	0.38
13	I-J	3	0.0381	0.38
14	II-III	3.5	0.0508	0.38
15	III-K	0.9	0.0381	0.38
16	K-L	3	0.0381	0.38
17	L-M	3	0.0381	0.38
18	M-N	3	0.0381	0.38
19	N-O	3	0.0381	0.38
20	III-IV	3.5	0.0508	0.38
21	IV-P	0.9	0.0381	0.38
22	P-Q	3	0.0381	0.38
23	Q-R	3	0.0381	0.38
24	R-S	3	0.0381	0.38
25	S-T	3	0.0381	0.38
26	I-V	3.7	0.0508	0.38
27	V-U	0.9	0.0381	0.38
28	U-V	3	0.0381	0.38
29	V-W	3	0.0381	0.38
30	W-X	3	0.0381	0.38
31	X-Y	3	0.0381	0.38
32	V-VI	3.6	0.0508	0.38
33	VI-Z	0.9	0.0381	0.38
34	Z-AA	3	0.0381	0.38
35	AA-BB	3	0.0381	0.38



DESFAVORABLE-DATOS

Nº	Tub.	L(m)	D(m)	km
36	BB-CC	3	0.0381	0.38
37	CC-DD	3	0.0381	0.38
38	VI-VII	3.5	0.0508	0.38
39	VII-EE	0.9	0.0381	0.38
40	EE-FF	3	0.0381	0.38
41	FF-GG	3	0.0381	0.38
42	GG-HH	3	0.0381	0.38
43	HH-II	3	0.0381	0.38

DESFAVORABLE-DATOS

## ROCIADORES

Presione ENTER después de ingresar cada valor

Diámetro de la vela (m).....	0.0254
Longitud de la vela (m) .....	0.3
Diámetro del rociador (m) .....	0.009525
Coefficiente de descarga del rociador(Cd) .....	0.8
Coefficiente de pérdidas (km) .....	0.21
Número de rociadores a utilizar .....	21

DESFAVORABLE-RESULTADOS

## TUBERÍAS

Tub.	Q (m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
Lin-I 1T	0.02166	1.19	0.67	0.38	355.76
Lin-I 2T	0.02166	2.67	12.81	1.49	212.62
I - A	0.00327	2.87	0.24	0.16	207.88
A - B	0.00327	2.87	0.78	0.16	197.68
B - C	0.00327	2.87	0.78	0.16	187.48
C - D	0.00217	1.90	0.36	0.07	184.59
D - E	0.00108	0.95	0.10	0.02	183.79
I - II	0.00920	4.54	1.56	0.40	186.65
II - F	0.00312	2.74	0.21	0.14	189.37
F - G	0.00312	2.74	0.71	0.14	179.99
G - H	0.00312	2.74	0.71	0.14	170.60
H - I	0.00207	1.81	0.32	0.06	167.86
I - J	0.00103	0.90	0.09	0.02	167.04
II - III	0.00608	3.00	0.69	0.17	184.02
III - K	0.00305	2.67	0.21	0.14	181.26
K - L	0.00305	2.67	0.68	0.14	172.23
L - M	0.00305	2.67	0.68	0.14	163.20
M - N	0.00202	1.77	0.31	0.06	160.53
N - O	0.00101	0.88	0.09	0.02	159.70
III - IV	0.00303	1.50	0.18	0.04	185.17
IV - P	0.00303	2.66	0.20	0.14	179.11
P - Q	0.00303	2.66	0.67	0.14	170.18
Q - R	0.00303	2.66	0.67	0.14	161.25
R - S	0.00201	1.76	0.31	0.06	158.59
S - T	0.00100	0.88	0.08	0.01	157.75
I - V	0.00919	4.53	1.60	0.40	186.30
V - U	0.00312	2.73	0.21	0.14	189.01
U - V	0.00312	2.73	0.71	0.14	179.64
V - W	0.00312	2.73	0.71	0.14	170.27
W - X	0.00207	1.81	0.32	0.06	167.54
X - Y	0.00103	0.90	0.09	0.02	166.71
V - VI	0.00607	3.00	0.70	0.17	183.49
VI - Z	0.00304	2.67	0.20	0.14	180.74
Z - AA	0.00304	2.67	0.68	0.14	171.73
AA - BB	0.00304	2.67	0.68	0.14	162.73
BB - CC	0.00202	1.77	0.31	0.06	160.06
CC - DD	0.00101	0.88	0.09	0.02	159.22
VI - VII	0.00303	1.49	0.18	0.04	184.64

DESFAVORABLE-RESULTADOS

Tub.	Q (m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
VII - EE	0.00303	2.65	0.20	0.14	178.60
EE- FF	0.00303	2.65	0.67	0.14	169.69
FF - GG	0.00303	2.65	0.67	0.14	160.78
GG - HH	0.00201	1.76	0.31	0.06	158.13
H H - II	0.00100	0.88	0.08	0.01	157.29

Hf = Pérdida por fricción en la tubería

Hm = Pérdidas debido a accesorios

DESFAVORABLE-RESULTADOS

## ROCIADORES

Rociador	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Hf (m)	Hm (m)	P (Kpa)
R3	0.00110	19.36	0.08	0.05	187.41
R4	0.00109	19.09	0.07	0.05	182.24
R5	0.00108	18.98	0.07	0.05	180.10
R8	0.00105	18.45	0.07	0.05	170.26
R9	0.00104	18.19	0.07	0.04	165.45
R10	0.00103	18.08	0.07	0.04	163.41
R13	0.00103	18.04	0.07	0.04	162.74
R14	0.00101	17.78	0.07	0.04	158.10
R15	0.00101	17.67	0.06	0.04	156.09
R18	0.00102	17.93	0.07	0.04	160.76
R19	0.00101	17.67	0.06	0.04	156.15
R20	0.00100	17.56	0.06	0.04	154.16
R23	0.00105	18.44	0.07	0.05	169.93
R24	0.00104	18.17	0.07	0.04	165.13
R25	0.00103	18.06	0.07	0.04	163.08
R28	0.00103	18.01	0.07	0.04	162.26
R29	0.00101	17.76	0.07	0.04	157.62
R30	0.00101	17.64	0.06	0.04	155.62
R33	0.00102	17.90	0.07	0.04	160.28
R34	0.00101	17.65	0.06	0.04	155.68
R35	0.00100	17.53	0.06	0.04	153.70

Hf = Pérdida por fricción en la vela

Hm = Pérdidas debido a accesorios

## 7.2 Análisis y Discusión

Valores de diseño:

Programa :	Simulación de un sistema de rociadores en funcionamiento
Clase de Riesgo:	Riesgo Ordinario Grupo 3 (RO3) Categoría II
Densidad de Diseño (mm/min):	5
Area de Operación (m <sup>2</sup> ):	216
Superficie máxima por rociador (m <sup>2</sup> ):	12

Tabla comparativa de los sistemas con rociadores de 3/8" y 1/2" utilizados (Tabla 7.1):

Diámetro nominal del orificio de rociador	Area Favorable		Area Desfavorable	
	3/8"	1/2"	3/8"	1/2"
Densidad mínima de descarga (mm/min)	5.59	5.71	5.67	5.90
Densidad máxima de descarga (mm/min)	6.03	6.68	5.95	6.64
Número de Rociadores en el área de operación	21	21	21	21
Presión de salida mínima (Kpa)	158.06	49.68	153.38	51.52
Presión de salida máxima (Kpa)	187.03	80.36	188.61	83.58
Superficie máxima por rociador (m <sup>2</sup> )	11.10	11.10	11.10	11.10
Superficie mínima por rociador (m <sup>2</sup> )	10.50	10.50	10.50	10.50
Area de Operación (m <sup>2</sup> )	225.90	225.90	224.10	224.10
Caudal total (m <sup>3</sup> /s)	0.0218	0.0232	0.0217	0.0230
Presión total (m.c.a)	42.81	34.27	43.89	35.61
Separación mínima entre rociadores (m)	3.00	3.00	3.00	3.00
Separación máxima entre rociadores (m)	3.65	3.65	3.65	3.65

De la tabla se observa que:

- El rociador de 1/2" de orificio produce mayor densidad de descarga en comparación con el de 3/8", pero este último tiene una presión de salida significativamente mayor. Sin embargo ambos están dentro de los límites de lo permitido, ya que la mínima densidad de diseño es de 5 mm/min a una presión no menor a 48.3KPa.
- En cuanto al caudal de la bomba, se puede notar que para el sistema de rociadores de 1/2" se requiere mayor caudal, mientras que el sistema con rociadores de 3/8" requiere menos. Sin embargo la curva utilizada para los cálculos corresponde a los datos nominales de la bomba, y con los caudales totales hallados no se llega a una sobrecarga, ya que la bomba es capaz de dar un caudal equivalente a  $Q = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}$  a una presión de  $H = 40.86 \text{ m}$ .

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 Conclusiones

- Para el diseño de rociadores automáticos es necesario determinar el tipo de abastecimiento y verificar si aquel es capaz de satisfacer la demanda de caudal en el tiempo de autonomía requerido. El abastecimiento de industrias Nettelco satisface en más del 50% el caudal de 1560 l/min en 60 minutos que son datos de caudal y tiempo de autonomía para sistemas combinados de rociadores y mangueras.
- Se tiene que definir una zona o sector con riesgo de incendio, marcando su perímetro sobre el plano de planta del edificio. Seguidamente se define el tipo de actividad que se va a desarrollar en su interior para que se determine los parámetros de diseño de la instalación y se proceda a distribuir geométricamente los rociadores y los ramales sobre el espacio disponible. En este caso se eligió un almacén de 350 m<sup>2</sup> y se distribuyó los rociadores como se puede ver en el Plano 3.
- Un paso importante es la determinación del área de operación hidráulicamente más desfavorable y del área más favorable, respecto a los rociadores instalados en una determinada zona.
- Con los rociadores distribuidos geométricamente sobre el sector a proteger, se plantean los sistemas de ecuaciones, de tal manera, que sus resultados abarquen el área de operación determinada previamente.
- El programa elaborado simula el funcionamiento de instalaciones contra incendios compuestas por rociadores automáticos de agua previamente dimensionado. Basa su funcionamiento en las normas UNE 23590 y NFPA 13.
- Este programa ha sido realizado en lenguaje de programación Pascal, con un procedimiento simple de cálculo basado en el método de teoría lineal, en el que por medio de iteraciones sucesivas se resuelven un grupo de ecuaciones planteadas e ingresadas en forma de matrices.
- En dicho programa es necesario ingresar como datos los factores tabulados en el Capítulo II con respecto a parámetros hidráulicos de la red de tuberías como son: diámetros y coeficientes de pérdidas menores en accesorios; y en el Capítulo V en relación a parámetros de los rociadores como es el tamaño, coeficiente de descarga, etc.
- El programa es capaz de determinar el caudal de descarga y la presión de salida cubierta por cada rociador para, de esta manera, comprobar si se mantiene dentro de los límites impuestos de acuerdo al tipo de riesgo. También comprueba si los cálculos del dimensionamiento hidráulico son correctos.

- En el caso planteado, de acuerdo al tipo de actividad del sector se estableció un tipo de riesgo clasificado como Riesgo Ordinario Grupo 3 (RO3) y Categoría II. Los parámetros de diseño para este tipo de riesgo según la norma UNE 23590 son de un área de operación mínima de  $216 \text{ m}^2$ , una densidad mínima de diseño de  $5,0 \text{ l/min/m}^2$  y una demanda mínima de caudal para esta área de operación de  $1200 \text{ l/min}$ .
- Este mismo procedimiento se puede utilizar para los cálculos hidráulicos íntegros de instalaciones de cualquier tipo de configuración: ramificadas, en anillo, en rejilla y mixtas.
- El programa determina automáticamente la presión y el caudal en el grupo de bombeo de acuerdo a la curva de la bomba ingresada en dicho programa en forma de ecuación.
- Este programa también puede utilizarse para realizar pruebas de funcionamiento en sistemas de rociadores ya instalados eligiendo diferentes áreas de operación.
- Después del análisis realizado, se llega a la conclusión de que es aconsejable utilizar los rociadores de  $\frac{1}{2}$ " debido a que son más comerciales y la experiencia ha demostrado que éstos pueden tener una acción eficaz con una presión de  $7 \text{ psi}$  ( $48 \text{ KPa}$ ) y un caudal de  $57 \text{ l/min}$ .
- Este método de cálculo tiene la ventaja de ser numérico, es decir trata de entender la totalidad del cálculo en la descomposición de sus factores y así poder tener una visión mas clara de la interdependencia de sus partes, además es preciso y claro.

## 8.2 Recomendaciones

- El grupo de bombeo para cualquier instalación de rociadores tiene que ser capaz de suministrar al menos los caudales y presiones requeridos para las áreas de operación más desfavorable y más favorable. Asimismo, la bomba debe ser capaz de dar el  $140\%$  de este caudal, a una presión no inferior al  $70\%$  de lo requerido en la intersección de las curvas correspondientes al área más desfavorable y a la bomba.
- La Norma UNE 23590 dispone que debe mantenerse una distancia libre debajo del deflector de rociadores de techo de al menos  $0.5 \text{ m}$  y que los rociadores no se instalarán a más de  $0.3$  bajo la parte inferior de los techos combustibles ni a más de  $0.45 \text{ m}$  bajo la parte inferior de los techos incombustibles. Donde las circunstancias hagan imposible evitar el uso de las distancias máximas de  $0.3 \text{ m}$  y  $0.45 \text{ m}$ , la zona involucrada será lo más pequeña posible.
- No situar rociadores cerca de elementos que pueden generar calor. No instalarlos en zonas donde queden expuestos a temperaturas superiores a las del ambiente



recomendado para cada temperatura de actuación. Estas recomendaciones deben ser tenidas en cuenta al momento de realizar la distribución de éstos en el área a proteger.

- En atmósferas corrosivas deben instalarse rociadores resistentes a la corrosión. Al instalar este tipo de unidades, hay que tomar precauciones para no dañar su recubrimiento.
- Para evitar daños mecánicos, los rociadores deben montarse en las tuberías ya instaladas. Antes de montarlos asegurarse de que es correcto el modelo, tipo, diámetro de orificio y temperatura.
- Es recomendable aplicar sobre la rosca del rociador una pequeña cantidad de pasta o cinta de sellado, teniendo cuidado que no se obstruya su orificio.
- Para instalar el rociador en la tubería, utilizar únicamente una llave especial de montaje, teniendo cuidado de no dañar sus componentes (cualquier otro tipo de llave puede dañar la unidad). No utilizar el deflector para enroscarlo.
- Después de la instalación, debe probarse la totalidad del sistema de acuerdo a las normas de instalación que sean aplicables. La prueba debe hacerse una vez instalados los rociadores, para asegurar que los rociadores no han sufrido daños y están perfectamente roscados. Si se producen fugas por la unión roscada, debe desmontarse la unidad y volverla a montar después de aplicar de nuevo pasta o cinta de sellado. En zonas en la que deba evitarse la salida de agua por posibles fugas durante la prueba de instalación, puede probarse el sistema de tuberías mediante aire a presión antes de realizarse la prueba de presión con agua.
- Es recomendable utilizar tubos de prueba para el sistema de rociadores, los cuales deben ser utilizados periódicamente para verificar la presión y el caudal del sistema, esta consiste en una desviación con un tubo de 1", el cual baja hacia una válvula de globo, que debe estar ubicada a menos de 2m del suelo, y más abajo terminar un codo de 45° unida a un rociador abierto con boquilla de ½", resistente a la corrosión.

## BIBLIOGRAFIA

1. Mc. Naughton, K. J. "Bombas: Selección, uso y mantenimiento"; 2da. Edición; Ed. Mc Graw Hill; México; 1992.
2. Nakamura, Shoichiro; "Métodos numéricos aplicados con software"; 1era. Edición; Ed. Prentice Hall Hispanoamericana; México; 1991.
3. Rocha, Arturo; "Hidráulica de Tuberías"; 1era. Edición; Perú; 1979.
4. Saldarriaga V., Juan G. "Hidráulica de tuberías"; Ed. Mc Graw Hill; Colombia; 1998.
5. Shames, Irving A.; "Mecánica de Fluidos"; Ed. Mac Graw Hill; 1992.
6. National Fire Protection Association; "Manual de protección contra incendios"; 3era. Edición; Estados Unidos de América; 1983.
7. National Fire Protection Association; "Manual de Inspecciones"; 1era. Edición; Ed. Cepreven; España; 1996.

### *NORMAS:*

1. Cámara Peruana de la Construcción; "Reglamento Nacional de Construcciones", Perú.
2. Norma UNE 23590, "Protección contra incendios. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño e instalación"; Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR); España; 1998.

### *REVISTAS:*

1. Montaje e Instalaciones - Construcción e ingeniería de las instalaciones. "Hidrantes de protección contra incendios"; 1998; Núm. 313; pp 59-64.
2. Materiales y métodos - 1/2 de Construcción, "Sistema de agua contra incendios"; 1993.